

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZAŘÍZENÍ PRO MONITOROVÁNÍ TEPLoty A VLHKOSTI S VZDÁLENÝM PŘENOSEM DAT

TEMPERATURE AND HUMIDITY MONITORING DEVICES WITH WIRELESS COMMUNICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Hrbáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Zdeněk Hrbáček

ID: 186086

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s vzdáleným přenosem dat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte bezdrátově komunikující mikrokontrolérem řízený systém monitorování teploty a vlhkosti.

1. Proveďte literární a internetovou rešerši.
2. Navrhněte koncept měřicího systému.
3. Navrhněte elektroniku monitoru veličin a dále elektroniku vzdálené zobrazovací jednotky, která s monitorem komunikuje bezdrátově v ISM pásmu.
4. Navrhněte komplexní programové vybavení.
5. Výsledný systém zhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout a realizovat zařízení pro sběr teploty a vlhkosti ze včelích úlů. Systém se skládá z měřící jednotky, která obsahuje digitální snímače a akční členy. Systém bezdrátově přenáší naměřené hodnoty do nadřazené jednotky, která data ve vhodném formátu zobrazí uživateli. Uživatel může sledovat parametry v úlech a pomocí akčních členů upravovat teplotu uvnitř úlu. Celý systém pak funguje autonomně podle definovaných pravidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

sběr dat, měření neelektrických veličin, bezdrátová komunikace, WiFi, Raspberry Pi, včelí úl

ABSTRACT

The purpose of this work is to design and implement a device for collecting temperature and humidity from bee hive. The system consists of a measuring unit that contains digital sensors and actuators. The system transmits the measured values wirelessly to the parent unit, which displays the data in a suitable format to the user. The user can monitor the hive parameters and use the actuators to adjust the temperature inside the hive. The whole system then operates autonomously according to defined rules.

KEYWORDS

data collection, measurement of non-electrical quantities, wireless communication, WiFi, Raspberry Pi, bee hive

HRBÁČEK, Zdeněk. *Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s vzdáleným přenosem dat*. Brno, 2018, 67 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zařízení pro monitorování teploty a vlhkosti s vzdáleným přenosem dat“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno 1. 6. 2020

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno 1. 6. 2020

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	11
1 Teoretická část studentské práce	12
1.1 Cíle	12
1.2 Internetový průzkum	12
1.2.1 K ochraně včelstva před krádeží	13
1.2.2 K ochraně před chladem a parazity	13
1.2.3 K částečnému či kompletnímu sledování včelstva	14
1.3 Měření veličiny	14
1.3.1 Měření teploty	14
1.3.2 Měření relativní vlhkosti plynu	15
1.3.3 Výpočet rosného bodu	15
1.4 Výběr vhodného teplotního snímače	16
1.5 Bezdrátové komunikace	16
1.5.1 Lokální bezdrátová komunikace	17
1.5.2 Komunikační sítě	17
1.6 Volba lokální bezdrátové komunikace	19
1.6.1 WiFi	19
1.6.2 Bluetooth	20
1.6.3 Komunikační moduly založené na vysílání ve volných frekvenčních pásmech	20
1.6.4 Návrh vlastního komunikačního modulu	21
1.7 Volba bezdrátového modulu	21
1.8 Výběr platformy vnitřní jednotky	22
2 Hardware koncept venkovní jednotky	23
2.1 Hardware koncept venkovní jednotky	23
2.1.1 Mikroprocesor - STM32F103	24
2.1.2 Bezdrátová komunikace - HC12	28
2.1.3 Regulátor napětí - AMS1117	28
2.1.4 Akční výstupy	28
2.2 DPS venkovní jednotky	29
2.3 Fyzické provedení jednotky	30
2.4 Komunikace mezi jednotkou a snímači	31
2.5 Provedení snímače	32

3	Softwarové řešení venkovní jednotky	35
3.1	Popis řešení	35
3.1.1	Inicializace zařízení	35
3.1.2	Měření, vyhodnocení a odesílání dat	36
3.2	Programování	40
3.2.1	Program STM32CubeMX	40
3.2.2	Program System Workbench for STM32	41
3.2.3	Program STM32 ST-Link Utility	41
4	Řešení vnitřní jednotky	43
4.1	Nutné části konfigurace	43
4.2	Webové rozhraní	43
4.3	Konfigurace	44
4.4	Zobrazení	46
4.5	Konfigurace termostatu	47
4.5.1	OFFLINE termostat	47
4.5.2	ONLINE termostat	47
4.5.3	Ke stažení	48
4.5.4	Info	48
4.5.5	Fyzické provedení vnitřní jednotky	48
5	Závěr	50
5.1	Zhodnocení venkovní jednotky	50
5.2	Zhodnocení vnitřní jednotky	50
	Literatura	52
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	54
	Seznam příloh	55
A	Schéma zařízení	56
B	Plošný spoj venkovní jednotky	61
C	Plošný spoj snímače	63
D	Seznam použitých součástek	65
E	Obsah přiloženého DVD	67

Seznam obrázků

1.1	GPS Dozor pro sledování úlů[2]	13
1.2	Centrální jednotka produktu Beehivemonitoring[1]	14
1.3	Standardní topologie typu vysílač - přijímač	17
1.4	Topologie komunikační sítě	18
1.5	WiFi moduly ESPRESSIF SYSTEMS[4][5]	20
1.6	Funkce HC12	21
1.7	Finální podoba systému	22
2.1	Blokové schéma jednotky	23
2.2	Konfigurace zapojení v STM32CubeMX	26
2.3	Zapojení stabilizátoru	28
2.4	Zapojení výkonového výstupu	29
2.5	Export hlavní DPS z Eaglu	30
2.6	Vizualizace jednotky ze SW Solidworks	31
2.7	Finální osazená DPS uložená do obalu	31
2.8	Znázornění zapojení s délkou vedení.	32
2.9	Zapojení dekodéru adresy	33
2.10	Příklad komunikace se snímači	33
2.11	Export hlavní DPS z Eaglu	34
2.12	Vizualizace snímačů ze SW Solidworks	34
2.13	Fyzické provedení snímačů	34
3.1	Fyzické provedení snímačů[6]	38
3.2	Požadavek na start konverze	39
3.3	Čtení dat ze snímačů	39
3.4	Editace konfigurace zařízení pomocí ST-Link Utility	42
4.1	Hlavní strana webového rozhraní	44
4.2	Konfigurace úlů	45
4.3	Konfigurace aktivních snímačů	45
4.4	Aktuální a zpracované hodnoty	46
4.5	Graf OFFLINE regulace včetně akčního zásahu	47
4.6	Graf ONLINE (P) regulace včetně akčního zásahu	48
4.7	Vizualizace vnitřní jednotky ze SW Solidworks	49
4.8	Fyzické provedení vnitřní jednotky	49
B.1	Vrchní strana mědi plošného spoje venkovní jednotky	61
B.2	Spodní strana mědi plošného spoje venkovní jednotky	61
B.3	Vrchní strana osazovacího plánu venkovní jednotky	62
B.4	Spodní strana osazovacího plánu venkovní jednotky	62
C.1	Vrchní strana mědi plošného spoje snímače	63

C.2	Spodní strana mědi plošného spoje snímače	63
C.3	Osazovací plán snímače	64

Seznam tabulek

1.1	Vybrané parametry snímačů	16
1.2	Porovnání komunikačních modulů	21
2.1	Použité integrované obvody a jejich rozhraní	24
2.2	Použité piny a jejich význam	27
2.3	Kompatibilní typy relé	29
2.4	Parametry DPS	30
2.5	Využití UTP kabelu	32
3.1	Parametry interního teploměru STM32F103	37
5.1	Porovnání výsledků regulátorů	51
D.1	Seznam součástek venkovní jednotky	65
D.2	Seznam součástek snímače	66

Úvod

Tato studentská práce se věnuje návrhu a řešení vlastního systému pro řízení teploty ve včelím úlu. V jednoduchých úlech jsou umístěny snímače a pomocí sběrnice jsou data přenášena do hlavní venkovní jednoty. Jednotka data zpracovává a podle definovaných pravidel vyhodnocuje spuštění ohřevu úlu. Naměřená data jsou pak bezdrátově přenášena do hlavní vnitřní jednotky. Tato jednotka pak uživateli zobrazuje naměřená data a umožňuje konfigurovat pravidla venkovní jednotky.

Práce zahrnuje výběr a návrh HW a SW pro všechny součásti systému.

Tématu měření neelektrických veličin a bezdrátovým komunikacím jsem se věnoval už ve své bakalářské práci a tudíž je na ně v této práci navázáno.

1 Teoretická část studentské práce

1.1 Cíle

Nejdříve je nutné stanovit požadavky na zařízení, od kterých se pak bude odvíjet návrh a parametry zařízení.

1. Nezávislost - Návrh systému musí být závislý pouze na přítomnosti napájení, aby nebyla potřeba dalších prostředků, např.: internet, GSM.
2. Pozorované veličiny - Pozorovanou veličinou pro zařízení bude teplota vzduchu uvnitř úlu. Podřazenou veličinou bude měření vlhkosti. Z obou veličin bude možné dopočítat rosný bod.
3. Množství měřících bodů - Možnost současného měření na několika bodech současně.
4. Rozměry - Měřící body do úlu budou realizovány co nejmenší, aby příliš ne-narušovaly přirozené prostředí uvnitř úlu.
5. Komunikace drátová - Sběrnice spojující jednotlivé měřící body s hlavní jednotkou musí být robustní, není zde požadavek na rychlost. Maximální délka by pak neměla přesáhnout 10 metrů.
6. Komunikace bezdrátová - Přenos mezi vnitřní a venkovní jednotkou by měl mít dosah stovky metrů a parametry komunikace by měly jít konfigurovat.
7. Akční výstup - Pouze dvouhodnotový a realizovaný pomocí relé.
8. Napájení - U venkovní jednotky se předpokládá napájení z autobaterie nebo z elektrické sítě. U vnitřní jednotky se předpokládá napájení z elektrické sítě.

Při návrhu zařízení jsou zohledněny výrobní a provozní náklady na zařízení.

Obsluha venkovní jednotky a snímačů by měla být co nejjednodušší a s minimálním počtem ovládacích prvků. Vnitřní jednotka by naopak měla mít co nejvíce uživatelsky přívětivé rozhraní.

1.2 Internetový průzkum

Na trhu se nachází spousta systémů pro sledování a ochranu včelstev. Ty by se daly principiálně rozdělit do 3 skupin.

1. K ochraně včelstva před krádeží.
2. K ochraně před chladem a parazity.
3. K částečnému či kompletnímu sledování včelstva.

1.2.1 K ochraně včelstva před krádeží

První skupina chrání včelstvo před krádeží či poškozování včelstva. Systém je vybaven jednotkou skrytou uvnitř úlu, která obsahuje GPS přijímač a GSM komunikátor. Bývá dále vybaven otřesovým čidlem a ochranným okruhem (tvořen tenkým drátem či spínačem). V případě narušení některého bezpečnostního systému začne systém pomocí GSM odesílat polohu majiteli a ten je pak schopen odcizené včelstvo najít. Takový systém je vhodný, pokud je včelstvo ukryto například v lese nebo u louky, u níž se v blízkosti nenachází vlastník včelstva.



Obr. 1.1: GPS Dozor pro sledování úlů[2]

Další možnou ochranou jsou tzv. fotopasti, které při detekci pohybu v záběru odesílají vlastníkově fotky úlů. Zde je nevýhoda, že je pachatel pouze vyfocen. Další sledování polohy úlu už neprobíhá. [2]

1.2.2 K ochraně před chladem a parazity

Jedná se o systém složený ze 3 základních částí:

1. Termostat.
2. Teploměr.
3. Vyhřívací mřížka.

Vyhřívací mřížky jsou umístěny uvnitř úlu. Termostat reguluje vnitřní teplotu na teplotu definovanou uživatelem a pomáhá včelám při ochraně královny. Je tak zamezeno odumírání včelstva. Jedná se ovšem v mnoha případech o jednoduché analogové zařízení s potenciometrem pro nastavení teploty a NTC teploměrem. Není zde žádná kontrola, že teploměr měří správně. Může dojít k tomu, že zařízení netopí a nebo že topí více a donutí včely vylétnout z úlu, ty následně venku hynou.

Některé systémy využívají ohřevu včelstva a zabraňují množení parazitů a vzniku některých chorob, např.: varroázy.

1.2.3 K částečnému či kompletnímu sledování včelstva

Jedná se o systémy, které kompletně monitorují podmínky uvnitř úlu. Uvnitř úlu se nachází hlavní jednotka, která měří teplotu, vlhkost a taky hluk v úlu. Z těchto parametrů lze určit předpovědi rojení, ztráta matky a síla včelstva v zimě. Systémy jsou většinou modulární tak, že se dají rozšířit o vytápění, váhu, GSM modul a GPS modul. Pomocí vytápění je možné regulovat teplotu úlu v zimních podmínkách a ochránit včelstvo před úhynem. Pomocí váhy se dá vypočítat přírůstek medu a také počet aktivního včelstva. GSM brána zde slouží jako zprostředkovatel přenosu dat do CLOUDU.



Obr. 1.2: Centrální jednotka produktu Beehivemonitoring[1]

[1]

1.3 Měření veličiny

Tato část práce se věnuje jednotlivým měřeným veličinám, které jsou nezbytné pro zpracování této studentské práce, a jejich zpracováním do digitální podoby.

1.3.1 Měření teploty

První zaznamenávanou veličinou je teplota vzduchu. Bude hlavní pozorovanou veličinou.

Teplota vzduchu je termodynamická stavová veličina, která je definována na základě účinnosti vratného Carnotova cyklu. Jednotkou v soustavě SI je pak $T = 1K$ (kelvin), který je definován jako $T = 0K$ při absolutní nule, nebo jako $T = 273,16K$ při trojném bodu vody.

Druhou velice rozšířenou jednotkou je pak $t = 1^{\circ}C$ (stupeň Celsia). Přepočet mezi jednotkami je

$$t = T[K] - 273,15 \quad [^{\circ}C] \quad (1.1)$$

Senzory pro měření teploty se dělí na dotykové a bezdotykové. Zařízení bude využívat dotykový snímač teploty, který bude v podobě integrovaného obvodu založený na technologii MEMS.[20]

1.3.2 Měření relativní vlhkosti plynu

Relativní vlhkost plynu je veličina, která udává, kolik procent vodní páry obsahuje daný plyn. Udává se v procentech $h = 100\%RH$.

Ve spotřební elektronice jsou nejpoužívanější snímače, které jsou založené na odporovém principu, kdy s rostoucí relativní vlhkostí klesá výstupní odpor snímače. Nevýhodou je nelineární výstupní charakteristika. Druhou variantou jsou kapacitní snímače, kdy s rostoucí vlhkostí roste výstupní kapacita snímače. Zde je charakteristika lineární. [20]

1.3.3 Výpočet rosného bodu

Z teploty a vlhkosti je možné vypočítat rosný bod. Ten udává, při jaké teplotě povrchu začne voda na tomto povrchu kondenzovat. Obecně lze rosný bod vypočítat podle rovnice.

$$T_{DP} = \left(\frac{RH}{100} \right)^{(1/8)} \cdot (112 + 0,9 \cdot T) + 0,1 \cdot T - 112 \quad [^{\circ}C] \quad (1.2)$$

T_{DP} rosný bod [$^{\circ}C$]

RH relativní vlhkost vzduchu [%]

T okolní teplota [$^{\circ}C$]

[9]

1.4 Výběr vhodného teplotního snímače

Z důvodu spolehlivosti a možné diagnostiky snímače budeme uvažovat pouze o snímačích digitálních s definovaným komunikačním rozhraním. Snímače budou kombinované, tedy teplota i vlhkost uvnitř pouzdra jednoho integrovaného obvodu. Dále budou rozhodující rozměry a napájení snímače, které musí být 3,3 voltu.

Do finálního výběru se dostali 3 snímače se shodnými parametry.

1. BOSCH BME280
2. Honeywell HIH7131
3. Sensiron SHT11

	BME280	HIH7131	SHT11
Měřené veličiny	teplota, tlak, vlhkost	teplota, vlhkost	teplota, vlhkost
Rozhraní	I2C/SPI	I2C/SPI	digitální seriové
Přesnost teplota [$^{\circ}\text{C}$]	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Přesnost vlhkost [%RH]	± 3	± 3	± 3
Přesnost tlak [hPa]	± 1	-	-
Odolnost kondenzace	ne	ano	ne

Tab. 1.1: Vybrané parametry snímačů

Jak je z tabulky vidět, nejvhodnější snímač je snímač HIH7131, protože je odolný vůči kondenzující vodě. Také je vhodný z důvodu rozhraní SPI, jelikož na rozhraní I2C má omezený počet adres (většinou 2) a počet měřících bodů by byl omezen. [3][7][10]

1.5 Bezdrátové komunikace

Bezdrátové komunikace je možné rozdělit do dvou skupin, které budou určovat topologii systému.

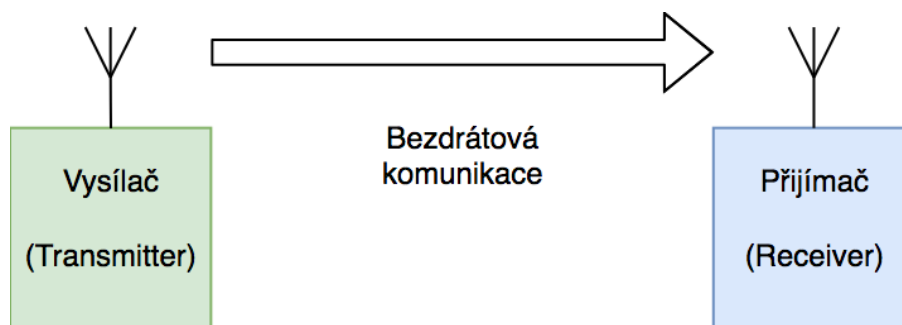
Do první skupiny jsou zařazena zařízení, u nichž víme, kde se budou nacházet, nebo jsou dokonce statické, ale nejsme schopni jim zajistit drátovou komunikaci. U těchto zařízení budeme provozovat lokální bezdrátovou komunikaci.

Druhou skupinu tvoří zařízení, u kterých nejsme schopni říct, kde se budou nacházet, ale k přenosu dat můžeme využít některou ze standardních bezdrátových komunikačních sítí.

1.5.1 Lokální bezdrátová komunikace

Lokální sběr dat je asi nejrozšířenější sběr dat svého druhu. Jedná se o topologii vysílač (transmitter) <-> přijímač (receiver), kdy jedno zařízení (přijímač) získává a zpracovává data z jiného zařízení (vysílač), kterých může být v systému umístěno i několik. Typickým příkladem je bezdrátový teploměr, který má vnitřní jednotku a venkovní jednotky. Tato bezdrátová komunikace probíhá na volných frekvenčních pásmech 433MHz a 868MHz. Vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem může být podle prostředí jednotky až stovky metrů. Toto zařízení může pracovat na baterii několik let.

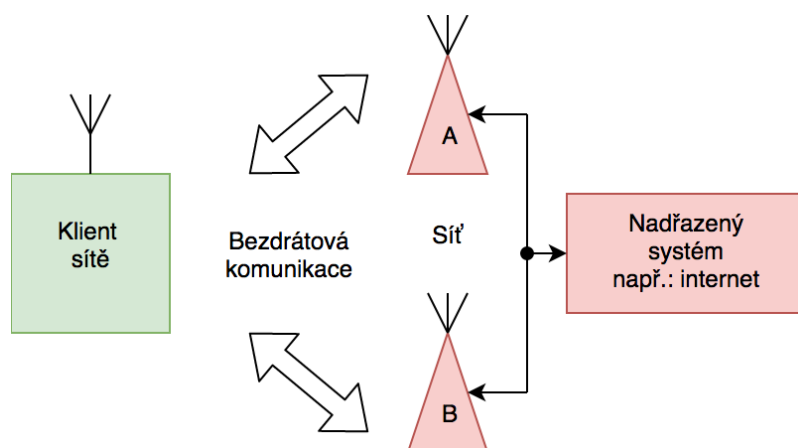
Druhou možností jsou bezdrátové detektory a zařízení připojené do lokální WiFi sítě, která mohou odesílat data například do telefonu uživatele, nebo je zobrazovat pomocí webového prohlížeče. Další variantou může být odesílání dat přímo do cloudu, kde se k nim uživatel odkudkoliv dostane.



Obr. 1.3: Standardní topologie typu vysílač - přijímač

1.5.2 Komunikační sítě

Při využívání komunikačních sítí není třeba brát zřetel na polohu. Je však nutné zařízení správně do této sítě registrovat.



Obr. 1.4: Topologie komunikační sítě

V České republice je na výběr ze dvou hlavních komunikačních sítí, a to GSM sítě a IoT sítě.

GSM komunikace

Jednou z možností pro přenos dat je využití standardních GSM sítí pro mobilní hovory. Nevýhodou je, že tyto sítě potřebují velké množství energie na vysílání, tudíž se nejlépe hodí na odesílání ze zařízení, která se pravidelně dobíjí, například automobily. U tohoto automobilu je možné v reálném čase, se zpožděním v jednotkách sekund, monitorovat jeho polohu, průměrnou rychlost, nebo jak dlouho vozidlo stálo. Výhodou je také vysoká přenosová rychlost (v případě LTE až 100 megabitů za sekundu) a také možnost komunikace bez omezení.

Druhou možností použití GSM komunikace je předcházení odpojení zařízení od všech „kabelových“ sítí po určitou dobu a zajištění následné komunikace. Toto se typicky používá u EZS, kdy při výpadku elektrické energie odešle zařízení zprávu, přičemž stále hlídá objekt a reaguje na případné vniknutí zločinců.

IoT

Druhou možností jsou pak moderní IoT komunikační sítě. Tyto sítě jsou navrženy tak, že jsou energicky nenáročné, jsou zde nízké pořizovací a provozní náklady pro klienty sítě. Nevýhodou je omezená přenosová rychlost (maximálně 100 kilobitů za sekundu) a omezené množství přenesených dat za jednotku času.

Tyto sítě se hodí pro „chytrá zařízení“ která jsou schopna odeslat data do internetu s použitím minimálních prostředků (dálkové odečty elektroměrů a plynůměrů, zařízení žádající si o údržbu).

Požadavkem na naše zařízení je, aby bylo co nejvíce nezávislé, a tudíž volba z některé komunikační sítě v tomto případě nedává smysl. Ovšem je nutné dbát na to, že komunikace musí být obousměrná, obě jednotky musí být schopny jak vysílat, tak přijímat. Zároveň by bylo vhodné si parametry komunikace přizpůsobit a zajistit bezdrátový přenos.

1.6 Volba lokální bezdrátové komunikace

Při výběru vhodné bezdrátové lokální komunikace mezi vnitřní a venkovní jednotkou máme k dispozici tyto varianty:

1. WiFi,
2. Bluetooth,
3. komunikační moduly založené na vysílání ve volných frekvenčních pásmech,
4. návrh vlastního komunikačního modulu.

1.6.1 WiFi

Světově nejrozšířenější bezdrátová komunikace, která funguje v režimu klient<->přístupový bod a nebo ve variantě bezdrátové spoje P2P, se jeví jako vhodná volba. Na trhu se nachází velké množství MCU, které obsahují přímo fyzickou vrstvu tohoto protokolu a jejich implementace je jednoduchá. Největším zástupcem je ESPRESSIF SYSTEMS, který dodává velké množství modulů. Mezi ně patří například ESP8266 nebo jeho nástupce ESP32. Oba disponují 32-bitovým procesorem s vysokým taktem procesoru (80MHz/160MHz) a jedná se o kompletní řešení.



Obr. 1.5: WiFi moduly ESPRESSIF SYSTEMS[4][5]

Nevýhodou WiFi je, že pracuje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz, je tedy více náchylná k průchodu signálu objekty a tedy obvyklá vysílací vzdálenost se pohybuje okolo 50 metrů v otevřeném prostoru (pokud nejsou použity směrové antény). Je nevhodná pro komunikaci mezi jednotkami, ale výborně by se hodila pro komunikaci mezi vnitřní jednotkou a uživatelským rozhraním v telefonu, tabletu nebo PC.[4][5]

1.6.2 Bluetooth

Další možností bezdrátové komunikace v pásmu 2,4 GHz je technologie Bluetooth, která byla vyvinuta jako bezdrátový nástupce RS232. Zde je při maximálním povoleném výkonu vysílací vzdálenost až 100 metrů, tak by teoreticky zvládla přenos dat mezi jednotkami. Ovšem jedná se o teoretickou hodnotu a navíc Bluetooth nepřináší žádné další výhody oproti WiFi, tak se opět jeví jako nevhodný.

1.6.3 Komunikační moduly založené na vysílání ve volných frekvenčních pásmech

Jedná se o moduly vysílající ve volných frekvenčních pásmech 868/433 MHz. Mají větší dosah než předchozí technologie (až 1000 metrů). Jednotlivé moduly nejsou mezi sebou kompatibilní, je tedy nutné pro příjem i vysílání využít stejné. Disponují standardním rozhraním, přes které se připojují k nadřazenému systému (SPI, UART). Ve většině případů nejsou schopné fungovat samostatně jako např.: ESP32.

Tyto moduly se jeví jako ideální řešení.

1.6.4 Návrh vlastního komunikačního modulu

Jedná se o využití pouze signálového vysílacího obvodu bez dostatečných komponent a antény. Návrh PCB je komplikovanější a je nutné dodržení pravidel pro návrh impedančně přizpůsobených vedení.

Vzhledem k tomu, že se jedná o časově náročné řešení, nebudeme ho dále uvažovat.

1.7 Volba bezdrátového modulu

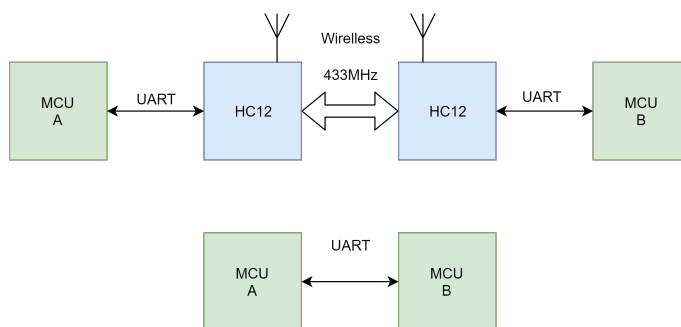
Do finálního výběru se dostaly dva komunikační moduly s podobnými parametry:

1. HC12 s obvodem Si4463,
2. RCC1101 s obvodem CC1100.

	HC12	RCC1101
Pracovní frekvence [MHz]	433	433/868
Komunikační rozhraní	UART	SPI
Výstupní výkon [dBm]	+20	+10
Počet kanálů [-]	100	229
Vysílací vzdálenost [m]	1000	500

Tab. 1.2: Porovnání komunikačních modulů

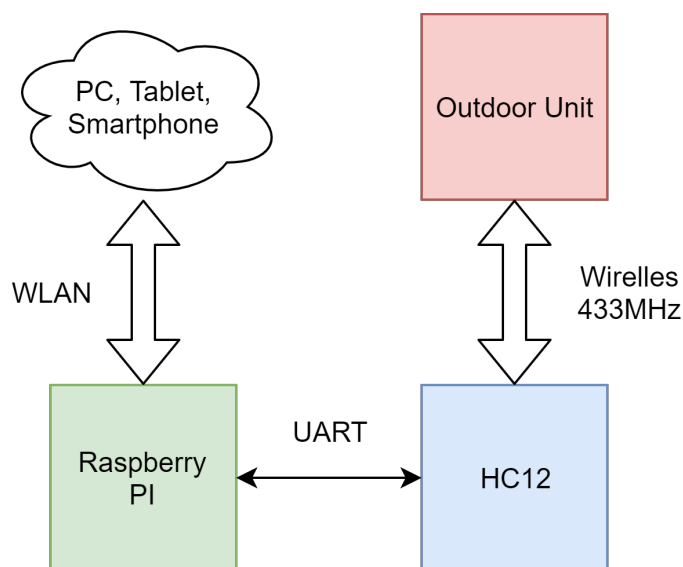
Z důvodu větší teoretické vysílací vzdálenosti a oddělení měřicí a komunikační části je vybrán komunikační modul HC12. Ten je systémem propojen pouze pomocí UART a připojen na napájení 3,3 V. V případě konfigurace je k dispozici pátý pin SET, který slouží k nastavení modulu. Zařízení propojená moduly se mezi sebou jeví jako by byla spojena fyzickou sériovou linkou.



Obr. 1.6: Funkce HC12

1.8 Výběr platformy vnitřní jednotky

Jelikož komunikační modul obsahuje standardní rozhraní UART, je možné pro vnitřní jednotku využít už hotové hardwarové řešení a vhodně jej softwarově vybavit. Zde se jako nejvhodnější zařízení jeví mini PC Raspberry Pi. Ten obsahuje spoustu GPIO včetně UART. Ethernetový port pro připojení internetu. Interní WiFi která se může tvářit jako přístupový bod a zajistit připojení na zařízení kdekoliv. Video výstup pro možné zobrazení dat na monitoru. Velkou výhodou je jeho rozšíření v komunitě a tedy velká SW podpora, například pro PHP nebo SQL, tedy jednoduchá implementace výsledných zdrojových kódů.



Obr. 1.7: Finální podoba systému

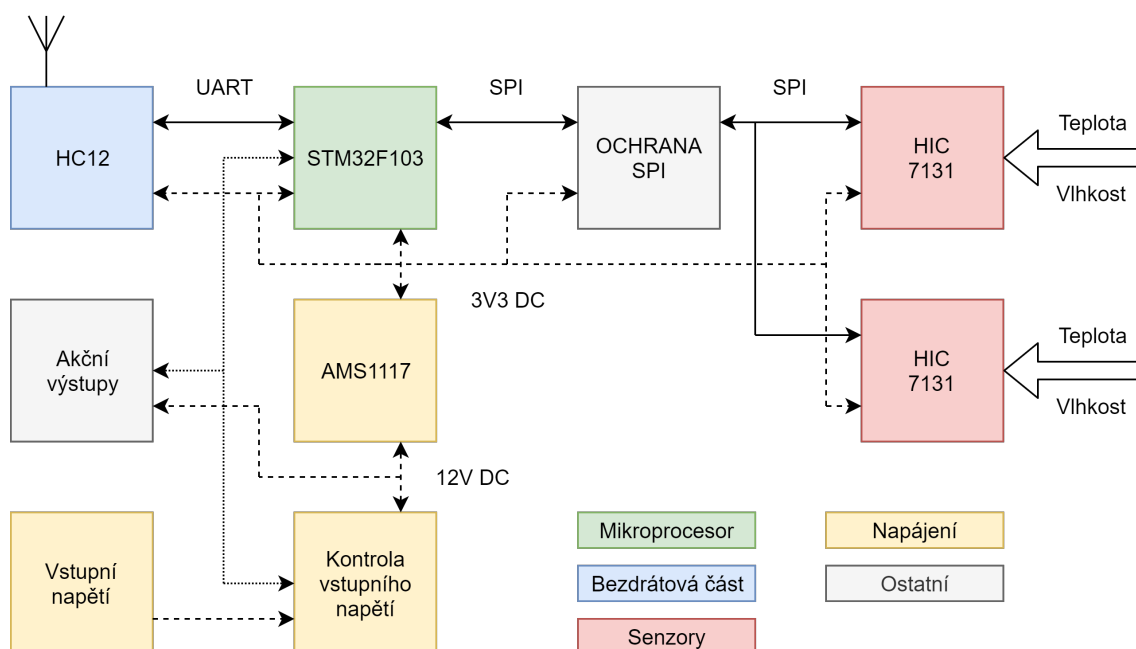
[8]

2 Hardware koncept venkovní jednotky

2.1 Hardware koncept venkovní jednotky

Středem jednotky je mikroprocesor, který zajišťuje chod celého systému. Na tento mikroprocesor nejsou kladeny vysoké nároky.

Zařízení je napájené vstupní svorkou, na kterou je připojeno 12 V DC. Na vstupu se nachází ochrana proti přepólování a část, která kontroluje, že je zařízení napájeno z 12 V. Z větve 12 V jsou napájena výstupní relé a jednotlivé PCB se snímači. Z 12 V je pomocí lineárního regulátoru vytvořena větev 3,3 V pro mikroprocesor, komunikační modul a snímače. Mezi mikroprocesorem a snímači se nachází blok ochrany sběrnice SPI. Dále systém obsahuje ovládací prvky v podobě konfiguračního tlačítka a indikační LED.



Obr. 2.1: Blokové schéma jednotky

Tab. 2.1: Použité integrované obvody a jejich rozhraní

integrovaný obvod	popis	komunikace
STM32STM32L103	mikroprocesor	SPI,UART,GPIO,ADC
HC12	komunikační modul	UART
TS1117B	lineární regulátor	-
HIH7131	kombinovaný snímač teplota, vlhkost	SPI

2.1.1 Mikroprocesor - STM32F103

Jedná se o mikroprocesor z řady STM32F1xx od společnosti STMicroelectronics pro všeobecné aplikace. Jelikož procesor nemusí mít nijak velký výkon a nejsou potřeba funkce nízké spotřeby, je pro tuto aplikaci ideální.

Dále je mikroprocesor vybaven standardními funkcemi a komunikačními rozhraními. Ty, které budou nutné pro tuto práci, jsou rozepsány níže.

Systémové hodiny

Mikroprocesor pro svou činnost využívá generátorů hodinových impulsů, které jsou umístěny přímo v pouzdře. Jsou zde generátory HSI (rychlé vnitřní hodiny) a LSI (pomalé vnitřní hodiny). Jelikož tyto generátory jsou uvnitř pouzdra tvořeny pomocí RC prvků, mohou být nepřesné a dají se nahradit pomocí krystalu nebo přímo oscilátory. Tak lze získat ekvivalentní generátory HSE a LSE. Pro dosažení lepších výsledků budou použity oba dva externí generátory.

Digitální vstupy a výstupy

Nejdůležitější část mikroprocesoru, která bude využita pro jednoduchou komunikaci mezi obvody. U jednotlivých vstupů pak bude definováno, jestli se jedná o vstup nebo výstup, a zda má mít nadefinovaný některý z výstupních odporů. Pro piny s přerušením je pak nutné definovat, na kterou hranu mají reagovat.

UART

Tato sběrnice se využívá ke komunikaci dvou zařízení. Tato zařízení jsou propojena pomocí dvou vodičů, RX a TX, které musí být na přijímacím zařízení zapojeny opačně (RX->TX,TX->RX). U této sběrnice musí být na obou stranách pevně definována přenosová rychlost, počet přenášených bitů, počet stop bitů a parita. Tato komunikační sběrnice je pak využita pro komunikaci s bezdrátovou částí.

SPI

Jedná se o sériové rozhraní, které slouží pro komunikaci mezi více zařízeními. Vždy je jeden účastník definovaný jako MASTER, ten generuje řídicí hodinový signál SCLK a určuje, se kterým zařízením se má komunikovat. Adresace probíhá pomocí signálu *SS* - slave select (*CS* - chip select), který je aktivní v log.0. Komunikace pak běží po dvou datových vodičích MOSI (Master Out, Slave IN) a MISO (Master IN, Slave Out). Sběrnice má několik definovaných rychlostí a délka slova je 8 nebo 16 bitů. V zapojení není využit signál MOSI, jelikož dochází k přenosu pouze ze snímače do procesoru. Rychlost sběrnice je snížena na minimum, a tedy na 31,25 kilobitů za sekundu, což dovoluje komunikaci na velké vzdálenosti.

AD převodník

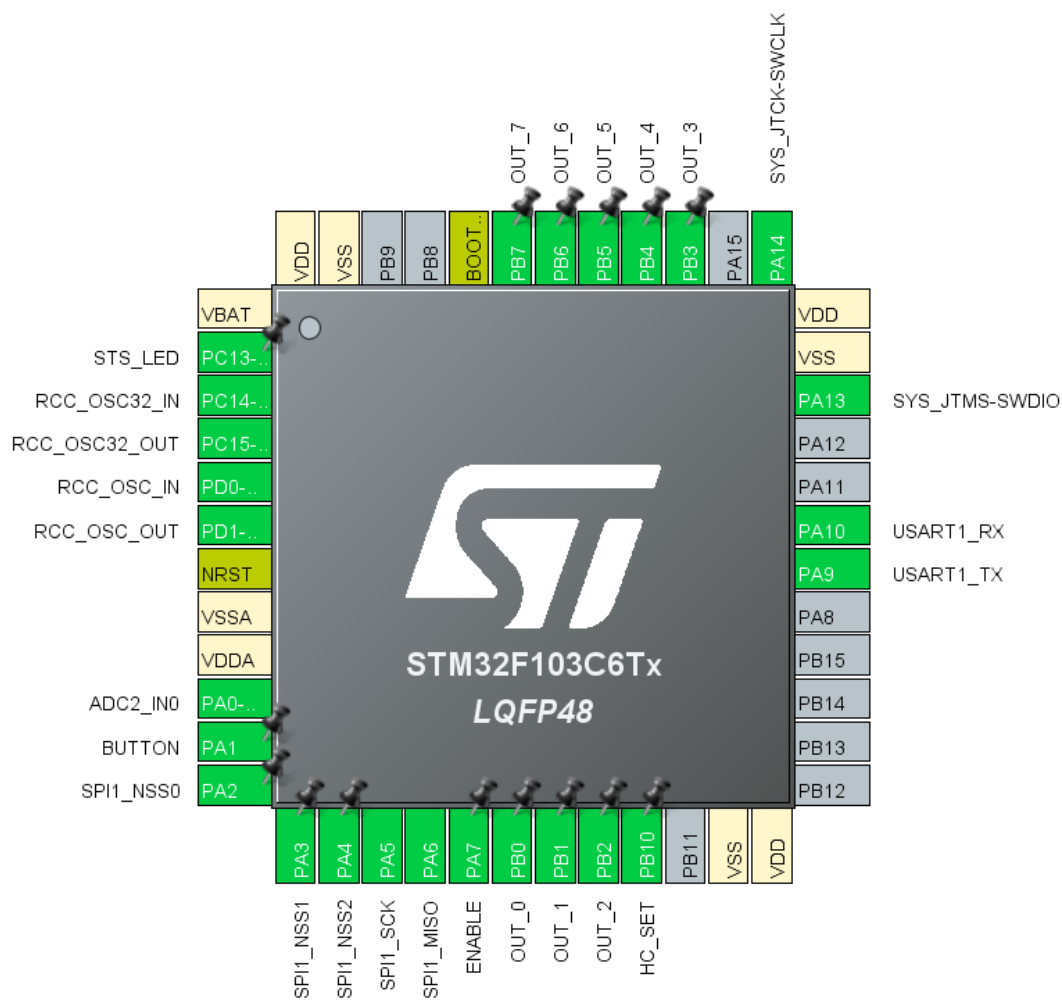
Mikroprocesor obsahuje také dva 12-bitové analogově-digitální převodníky. A/D převodník je využit pro kontrolu vstupního napětí a pro měření interní teploty procesoru.

Časovač

Součástí mikroprocesoru jsou tři 16-bitové hardwarové časovače. Disponují standardními funkcemi jako PWM, output compare, input capture a jiné. Časovač TIM2 bude využit pro generování cyklického přerušení s periodou 5 vteřin.

Fyzické zapojení mikroprocesoru

Pomocí programu STM32CubeMX byly nakonfigurovány jednotlivé periferie mikroprocesoru. Pomocí tohoto programu lze pak jednoduše vygenerovat podklady pro naprogramování mikroprocesoru.



Obr. 2.2: Konfigurace zapojení v STM32CubeMX

Název	Číslo	Pin	Funkce	Popis
STS_LED	2	PC13	Výstup digitální	Indikační LED
RCC_OSC32_IN	3	PC14	LSE	Nízko frekvenční oscilátor
RCC_OSC32_OUT	4	PC15	LSE	Nízko frekvenční oscilátor
RCC_OSC_IN	5	PD0	HSE	Vysoko frekvenční oscilátor
RCC_OSC_OUT	6	PD1	HSE	Vysoko frekvenční oscilátor
NRST	7		DEBUG	Programování a debbuging
ADC_VCC_IN	10	PA0	Vstup analogový	Kontrola vstupního napětí
BUTTON	11	PA1	Vstup digitální	Funkční tlačítko
SPI1_NSS0	12	PA2	Výstup digitální	Adresace snímačů
SPI1_NSS1	13	PA3	Výstup digitální	Adresace snímačů
SPI1_NSS2	14	PA4	Výstup digitální	Adresace snímačů
SPI1_SCK	15	PA5	Sběrnice	Sběrnice hodiny
SPI1_MISO	16	PA6	Sběrnice	Data MASTER<-SLAVE
ENABLE	17	PA7	Výstup digitální	Aktivace snímače
OUT_0	18	PB0	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_1	19	PB1	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_2	20	PB2	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
HC_SET	21	PB10	Výstup digitální	Ovládání konfigurace HC12
USART1_TX	30	PA9	Sběrnice	Vstup dat do HC-12
USART1_RX	31	PA10	Sběrnice	Výstup dat z HC-12
SWDIO	34	PA13	DEBUG	Programování a debbuging
SWCLK	37	PA14	DEBUG	Programování a debbuging
OUT_3	38	PB3	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_4	39	PB4	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_5	40	PB5	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_6	41	PB6	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
OUT_7	42	PB7	Výstup digitální	Ovládání akčních členů
BOOT0	43		Volba bootování	Připojeno na GND

Tab. 2.2: Použité piny a jejich význam

Vstup BOOT0 slouží k nastavení bootovací sekvence mikroprocesoru. Připojení log. 0 mu říká, že má bootovat z vnitřní paměti flash. Piny VDD, VSS, VDDA a VSSA slouží k připojení napájecího napětí. Pin NRST slouží k resetu mikroprocesoru, využívá se k debugování a nahrávání softwaru.

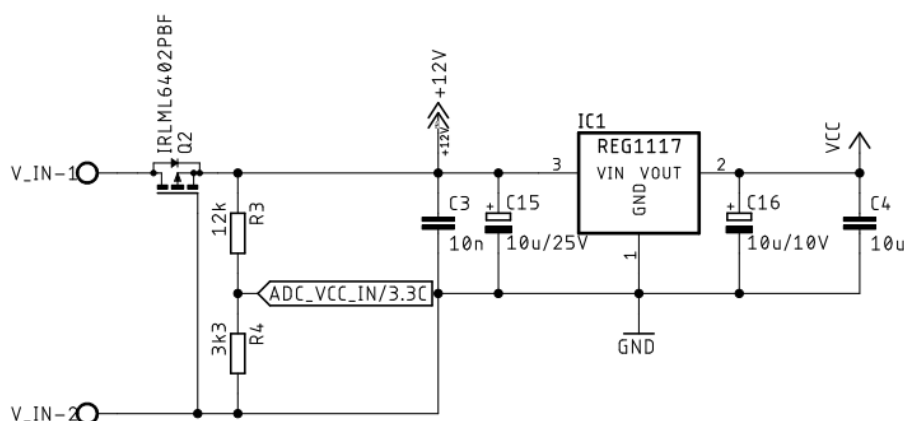
[13][14][12][22][21]

2.1.2 Bezdrátová komunikace - HC12

Komunikační modul napojený na sběrnici UART odesílá všechna data ven. V případě nutnosti konfigurace modulu je na pin SET přivedena log. 0 a přes sériovou linku se modem konfiguruje pomocí standardních příkazů „AT”. Kromě napájení z 3,3V nepotřebuje žádné další hardwarové vybavení. Na modulu je přímo umístěna anténa a v případě potřeby zvětšení rozsahu obsahuje SMA konektor pro externí anténu. Spotřeba při vysílání se pohybuje až okolo 100 mA.

2.1.3 Regulátor napětí - AMS117

Obyčejný lineární regulátor bude upravovat vstupní napětí na úroveň 3,3 V. Ten má výstupní proud až 1 A, tak by neměl být problém, aby zvládl napájet všechny komponenty včetně snímačů. K ochraně před pólováním vstupního napětí je před regulátor umístěn PMOS transistor IRLML6402, který byl vybrán pro svůj malý RDSON parametr. Za tímto obvodem se pak nachází napěťový dělič pro kontrolu vstupního napětí. Samotný stabilizátor je doplněn čtveřicí kondenzátorů.



Obr. 2.3: Zapojení stabilizátoru

[17]

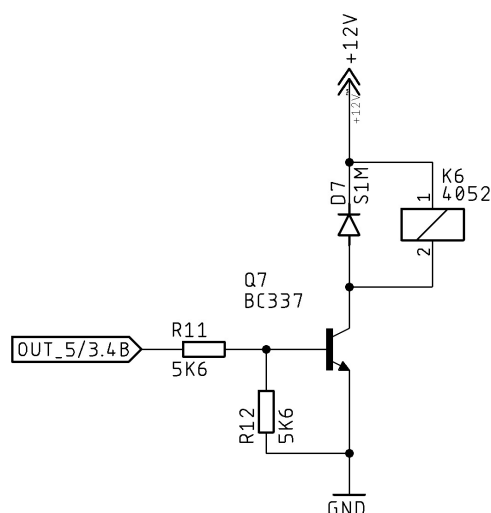
2.1.4 Akční výstupy

Akční výstupy pro připojení vytápění jsou realizovány pomocí relé Finder řady 40, kdy je možné využít několik typů relé. Na DPS je umístěna pouze patice a je tak zajištěna jednoduchá výměna relé. Maximální spínaná zátěž pak může mít až 250 V AC, 16 A. Ovšem zde jsme omezeni šířkou cest na DPS, kde je proud omezen

na 8A. Řídící napětí cívky je 12 V DC, kdy toto napětí je odebíráno přímo za PMOS tranzistorem zajišťující správnou polaritu napájení. Cívka relé je spínaná k zemi pomocí NPN tranzistoru BC817. Pro ochranu tranzistoru je k relé paralelně umístěna dioda S1M, která chrání tranzistor při rozpínání.

Typ relé	Počet přepínacích kontaktů [-]	Maximální proudová zátěž [A]	Jmenovité napětí cívky [V DC]
Finder 40.51	1	10	12
Finder 40.52	2	8+8	12
Finder 40.61	1	16	12

Tab. 2.3: Kompatibilní typy relé



Obr. 2.4: Zapojení výkonového výstupu

2.2 DPS venkovní jednotky

V návrhovém prostředí Eagle od společnosti Autodesk bylo navrženo elektronické schéma. Schéma je rozděleno do funkčních bloků. Pasivní součástky jsou voleny z velikostní řady 0603, hodnoty součástek vycházejí z katalogových listů a doporučení výrobce.

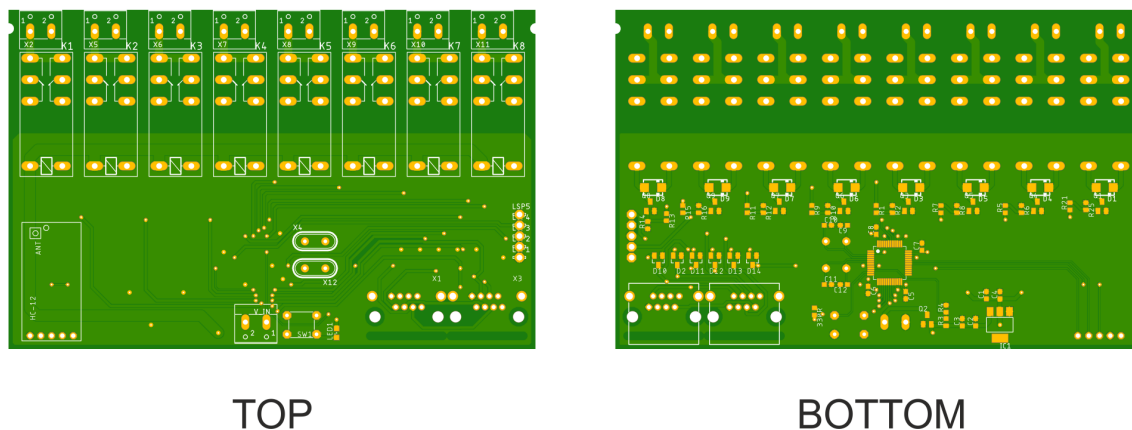
Ze schématu byly vygenerovány podklady pro tvorbu DPS. Rozměr DPS je dán rozmístěním relé, které zabírá nejvíce plochy. Z ovládacích prvků se zde nachází

jedno konfigurační tlačítko a jedna signalizační dioda. Pro připojení napájení a akčních členů slouží zasouvací svorkovnice. Snímače jsou připojeny přes dvojici RJ45 konektorů. Z boční strany jsou vytvořeny dva zářezy, které drží DPS uvnitř obalu.

Z DPS jsou vygenerovány výrobní podklady pro výrobce DPS.

počet vrstev[-]	rozměry [mm]	materiál	tloušťka materiálu [mm]	tloušťka mědi[um]	min. šířka cesty[mm]	min. šířka mezery [mm]	min. průměr díry [mm]
2	125x80	FR4	1,6	35	0,1524	0,1524	0,3

Tab. 2.4: Parametry DPS



Obr. 2.5: Export hlavní DPS z Eaglu

[8]

2.3 Fyzické provedení jednotky

Pro výslednou montáž a instalaci v úlu byl v programu Solidworks vymodelován obal, který se skládá ze dvou částí, které do sebe zapadají. Tento model byl následně zkompletován s daty od DPS a byl vytvořen 3D model jednotky testující výslednou montáž. Díly modelu byly vytištěny na 3D tiskárně BE3D od společnosti Ysoft .



Obr. 2.6: Vizualizace jednotky ze SW Solidworks



Obr. 2.7: Finální osazená DPS uložená do obalu

2.4 Komunikace mezi jednotkou a snímači

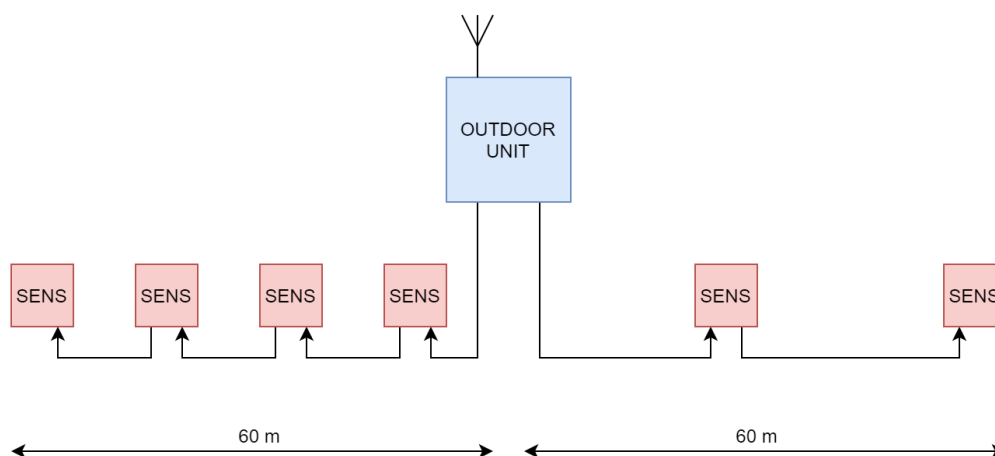
Jako komunikační prostředek mezi hlavní venkovní jednotkou je volen UTP kabel se standardními konektory RJ45, kdy tento kabel musí být zapojen jako přímý. Uvnitř kabelu jsou čtyři páry kroucených vodičů. Těchto osm vodičů je využito pro přenos napájení, adresaci a přenos dat pomocí sběrnice SPI.

Na adresaci jsou využity tři vodiče, tzn. možnost adresace osmi snímačů. Jeden vodič je využit k aktivaci snímače.

Pořadí v konektoru	Barva vodiče (B)	Popis	Pozn.:
1.	Bílo-Oranžová	GND	0V
2.	Oranžová	ENABLE	aktivace snímače
3.	Bílo-Zelená	SS2	nejvyšší bit adresace
4.	Modrá	MISO	SPI data ze snímače
5.	Bílo-Modrá	SS1	prostřední bit adresace
6.	Zelená	SCK	SPI hodinový signál
8.	Bílo-Hnědá	SS0	nejnižší bit adresace
9.	Hnědá	VCC	3,3V napájení

Tab. 2.5: Využití UTP kabelu

Signály MISO a SCK jsou umístěny do páry vždy s adresním signálem, aby nedocházelo k ovlivnění signálů mezi sebou. Komunikační rychlost je snížena na minimální hodnotu, tedy na 31,25 kilobitů za sekundu. To dovoluje komunikaci na velké vzdálenosti mezi jednotkou a snímačem.



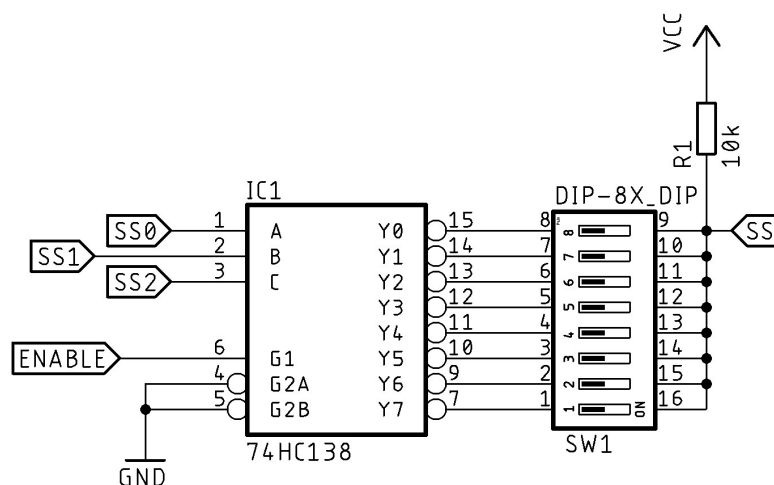
Obr. 2.8: Znázornění zapojení s délkou vedení.

Pro ochranu mikroprocesoru jsou na venkovní jednotce umístěny TVS, diody které slouží k ESD ochraně sběrnice. V případě nežádoucího napětí na sběrnici je napětí přes diody uzemněno.

2.5 Provedení snímače

Na DPS snímače se nachází minimální množství komponent nutných pro jeho provoz. Mimo snímač HIH 7131 se zde nachází integrovaný obvod 74HC138. Jedná se o

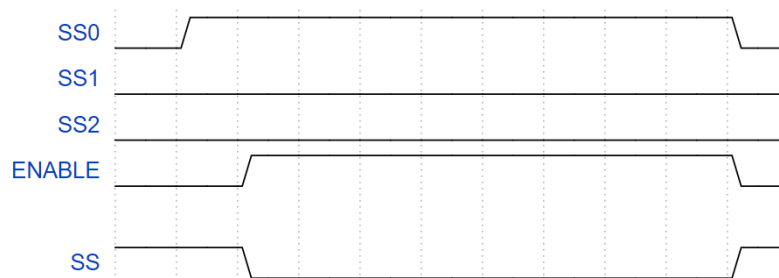
dekodér 3 na 8 s invertovanými výstupy a tedy při správné aktivaci je pouze jeden výstup v log. 0, všechny ostatní v log. 1.



Obr. 2.9: Zapojení dekodéru adresy

Toho se využívá při aktivaci signálu SS na snímači HIH7131, kdy se pomocí signálu SS0 až SS2 zvolí adresa snímače a signálem ENABLE se aktivuje daný výstup. V případě, že je na DIP přepínač na dané adrese přepnut do polohy ON, je signál SS v log. 0. V tento moment je procesor schopen komunikovat se snímačem. Toto řešení umožňuje jednoduchou adresaci snímačů v systému.

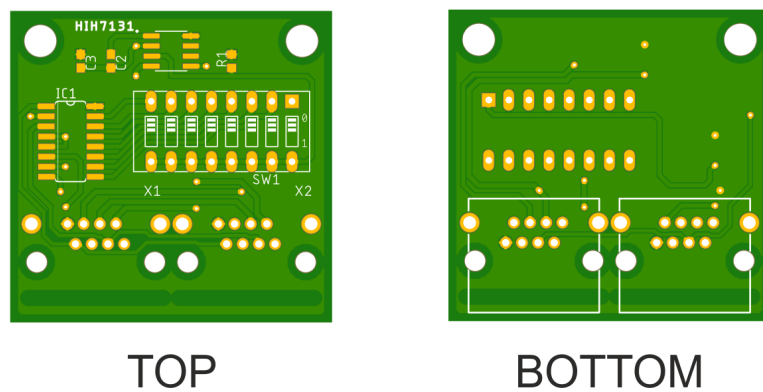
Snímač HIH 7131 je zapojen dle katalogového listu výrobce a pro svoji činnost potřebuje pouze dvojici kondenzátorů.



Obr. 2.10: Příklad komunikace se snímači

V případě neosazení DIP přepínače je možné požadovanou adresu proletovat a vytvořit tak neadresovatelný snímač s napevno určenou adresou.

[18]



Obr. 2.11: Export hlavní DPS z Eaglu

Obdobně jako u venkovní jednotky byl vytvořeno DPS a obal. Snímač je vybaven montážními otvory, které prochází skrz obal i DPS a je možné snímač upevnit uvnitř úlu.



Obr. 2.12: Vizualizace snímačů ze SW Solidworks



Obr. 2.13: Fyzické provedení snímačů

3 Softwarové řešení venkovní jednotky

Následující část práce se věnuje návrhu softwaru mikroprocesoru zajišťující bezchybný chod jednotky.

3.1 Popis řešení

Software je rozdělen do dílčích funkcí, které se volají v rámci hlavního cyklu. Celý software se dá rozdělit do dvou částí:

1. Inicializace zařízení.
2. Měření, vyhodnocení a odesílání dat.

3.1.1 Inicializace zařízení

Inicializace periférií

Po připojení napájení se jako první inicializují všechny periférie. To znamená, že se do příslušných registrů zapíše hodnoty, aby periférie pracovaly podle požadavků. Jako první se nastaví systémové hodiny, které vyberou jako zdroj HSI s taktem 8 MHz. Dále se pak nakonfigurují všechny digitální vstupy a výstupy a jejich pomocné pull-up či pull-down odpory. Sběrnice UART se konfiguruje jako asynchronní, s rychlostí 9600 baudů, bez parity a s jedním stop bitem. Sběrnice SPI pracuje v režimu „MASTER RECEIVE ONLY“, tedy že MASTER smí pouze číst ze SLAVE. Hardware SS signál je zakázán a rychlost sběrnice je snížena 31,25 kilobitů za sekundu. Pro oba ADC převodníky je nastaveno rozlišení 12-bitů, jeden převod a zaokrouhlení doprava. Oba převodníky jsou na startu zkalibrovány pomocí interní reference 3,3 V. Časovač TIM1 je pomocí děliček nakonfigurován ke generování přerušování s periodou 5 vteřin a spuštěn.

[13]

Načtení hodnot termostatu

V paměti flash mikroprocesoru jsou uloženy informace o termostatu, který má jednotka podle pokynů provozovat. Jedná se o dvě hodnoty teploty a informaci, zda má být termostat na daném kanálu aktivní. Všechny tři hodnoty jsou pak uloženy do pole struktury *trmst*. Tato struktura obsahuje:

- *trmst.set* - teplota regulace,
- *trmst.offset* - odchylka regulace,
- *trmst.enable* - povolení či deaktivace daného kanálu.

Pro zpracování dat z flash paměti je využita struktura *union*, která dovoluje vyčíst data z paměti ve formátu *uint32_t* a uložit je do formátu *float*.

3.1.2 Měření, vyhodnocení a odesílání dat

Celý cyklus se skládá ze dvou hlavních částí, a to kontroly bezdrátové komunikace a obsluhy cyklického přerušení časovačem. Speciální událostí je stisk konfiguračního tlačítka, které zde slouží k restartu zařízení. Při této události dojde k vyvolání přerušení, spustí funkce *sw_reset()*, indikační dioda prudce bliká a nakonec dojde k aktivaci SW reset definovaného jádrem Cortex M0.

Kontrola bezdrátové komunikace na sběrnici UART pracuje v tzv. *POOLMODE*, tedy procesor čeká definovanou dobu, zda se v příchozím bufferu periferie *UART* neobjeví data. Pokud se objeví, spustí se parsovací algoritmus, který podle prvního znaku příchozího řetězce vyhodnotí a provede příkaz.

V zařízení jsou definovány tyto příkazy:

1. T - požadavek na odeslání hodnot do hlavní jednotky,
2. S - konfigurace termostatu,
3. C - nastavení výstupu na požadovanou hodnotu,
4. I - požadavek na odeslání informací o jednotce,
5. R - požadavek na SW restart jednotky.

Všechny příkazy jsou pak ukončeny znakem X, který dává informaci k provedení úkonu.

Odesílání hodnot do jednotky

Po přijetí příkazu *TX* načte jednotka informace o všech měřených bodech a výstupu a odešle je ve formátu *aa.aa bb.bb c*, kde:

1. *aa.aa* - informace o vlhkosti,
2. *bb.bb* - informace o teplotě,
3. *c* - informace o výstupu.

Tato data se opakují pro všech osm kanálů jednotky a na konci zprávy je ukončovací znak X. Data ze všech kanálů, i v případě že nejsou aktivní, jsou odeslána a následně zpracována v nadřazené jednotce, kde jsou odstraněna nepotřebná data. Důvodem je konzistence bezdrátové komunikace.

Konfigurace termostatu

V případě konfigurace termostatu zpráva obsahuje následující informace:

1. číslo kanálu konfigurace,

2. informace o povolení kanálu,
3. regulovanou teplotu,
4. odchylku regulované teploty.

Zpráva může vypadat následovně: S 01 1 25.0 1.0 X.

Po úspěšně provedeném parsování jsou data uložena do RAM paměti a následně musí být uložena do paměti FLASH. Jelikož se jedná o stránkovací systém managementu FLASH paměti, je nejprve celá stránka paměti vymazaná a následně z paměti RAM obnovena v aktualizované podobě.

Nastavení výstupu

Po úspěšném parsování zprávy, která obsahuje pouze číslo kanálu a hodnotu přiřazení výstupu, je tato hodnota ihned aplikována na výstupy akčních členů. Zároveň je s příchodem této zprávy deaktivován termostát a k jeho opětovnému spuštění je nutné odeslat konfigurační příkaz.

Informace o jednotce

Pomocí prvního ADC převodníku je nejprve změřena hodnota interního teploměru a přepočtena na teplotu ve stupních Celsia. Pro výpočet teploty je třeba znát napětí při 25° a teplotní spád napětí. Také je nutné brát v potaz kalibrační napětí ADC převodníku.

	Napětí [mV]	Hodnota ADC při kalibraci 3V3 [-]	Zkratka
Napětí 25 °C	1430	1750	V25
Teplotní sklon na 1°C	4.3	5	SLOPE

Tab. 3.1: Parametry interního teploměru STM32F103

$$T = \frac{(V_{25} - ADC)}{SLOPE} + 25[^\circ C] \quad (3.1)$$

Pomocí druhého ADC je vyhodnoceno vstupní napětí jednotky. Pomocí napěťového děliče složeného z odporů 13 kΩ a 3,3 kΩ je jednotka schopna vyhodnotit maximální napětí 16,3V. V případě, že je vstupní napětí 12V, je na vstupu ADC převodníku napětí 2,42V a hodnota po konverzi je 3003. Pro lepší správu přepočteme hodnotu na vstupní napětí v desetínách voltu.

$$U_{adc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U[V] \quad (3.2)$$

$$U_{adc} = \frac{3300}{13000 + 3300} \cdot 12 = 2,42V$$

Pro 12 bitový převodník s kalibrační referencí 3,3 V platí.

$$adc = \frac{2,42}{3,3} \cdot 2^{12} = 3003[-]$$

Pokud tedy chceme získat konstantu pro převod na desetiny voltu:

$$k = \frac{3003}{1200} = 2,5025[-]$$

Jedná se ovšem pouze o informační vstupní hodnotu napájení.

Do nadřazeného systému jsou dále odeslaný verze o hardwarové konfiguraci jednotky a informace o verzi firmware jednotky. [13]

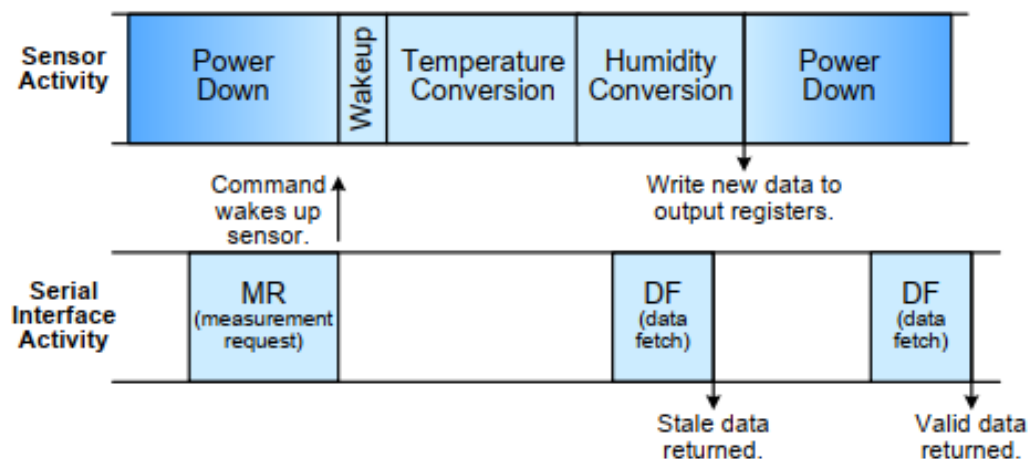
Reset

V případě přijetí příkazu *RX* provede jednotka stejný reset jako v případě stisku konfiguračního tlačítka.

Po celou dobu zpracování příkazu a odesílání je aktivována indikační LED dioda a signalizuje provoz jednotky. Po úspěšném odeslání odpovědi se deaktivuje a jednotka si vyčistí buffer pro příjem a odesílání zpráv.

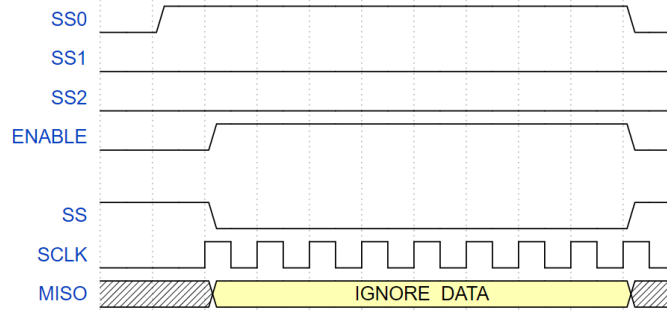
Získání dat ze snímačů

Načtení dat ze snímačů probíhá dvoufázově, kdy v první fázi je dán impuls pro konverzi dat a v druhé fázi pak dojde k vyčtení. Samotná konverze ve snímači trvá minimálně 36,65 ms a v případě dřívějšího čtení dat dojde k získání dat z předešlé konverze.



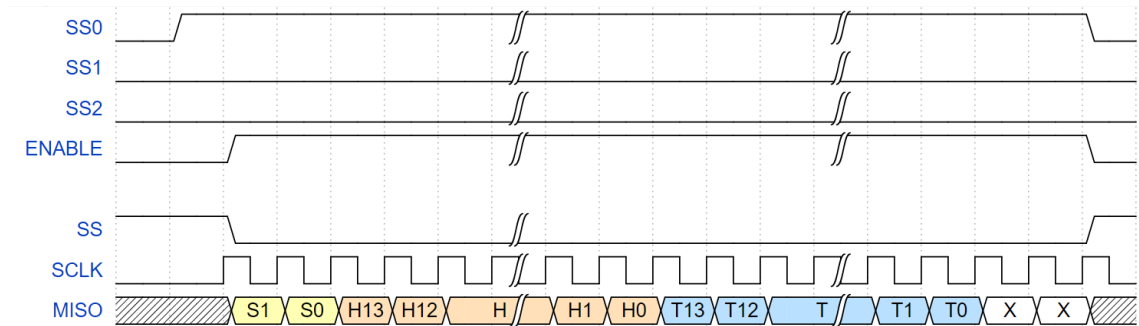
Obr. 3.1: Fyzické provedení snímačů[6]

Požadavek na start konverze dat je generován vyčtením minimálně jednoho bajtu dat ze snímače, kdy tato vyčtená data jsou dále ignorována a neobsahující žádné užitečné informace. Systém tedy vygeneruje požadavek pro všech osm snímačů a počká 40 ms, aby bylo zaručeno dokončení konverze na všech snímačích.



Obr. 3.2: Požadavek na start konverze

Při vyčtení dat jsou z každého snímače vyčteny 4 bajty informací. Ty kromě 14 bitové teploty a 14 bitové vlhkosti obsahují 2 stavové bity, ze kterých se dá ověřit, že se jedná o první čtení dat po konverzi a ověřit si tak jejich správnost. Naměřená data pak v absolutní hodnotě odpovídají měřeným rozsahům, tedy pro vlhkost 0 až 100% a pro teplotu -40°C až 125°C. Nejnižší dva bity jsou pro budoucí použití.



Obr. 3.3: Čtení dat ze snímačů

$$T = \frac{RAW_{TMP}}{2^{14} - 2} \cdot 165 - 40[^\circ C] \quad (3.3)$$

$$RH = \frac{RAW_{HUM}}{2^{14} - 2} \cdot 100[\%] \quad (3.4)$$

Po vyčtení teplot přichází na řadu regulátor typu BANG-BANG, který má diskretní výstup 0 nebo 100%. V případě, že je pro daný kanál aktivován, dojde k vyhodnocení,

jestli se má provést operace na výstupu a začít tak zvyšovat teplotu, nebo naopak teplota dosáhla dostatečné hodnoty a je třeba vypnout akční zásah do úlu. [6]

3.2 Programování

Pro programování a konfiguraci zařízení jsou využity tři programy přímo od výrobce mikroprocesoru. Všechny tři jsou po registraci na stránkách výrobce k dispozici zdarma.

3.2.1 Program STM32CubeMX

První software slouží hlavně k prvotní inicializaci programu. Po vybrání příslušného mikroprocesoru jsou k dispozici čtyři okna, ve kterých lze pomocí intuitivního grafického rozhraní nakonfigurovat periferie zařízení.

Pinout

Jako první je potřeba nakonfigurovat, které hardwarové součásti budeme využívat. Pro zařízení to jsou ADC1 pro měření interní teploty, ADC2 pro měření baterie, SPI1 pro komunikaci se senzory, TIM1 pro generaci cyklického přerušení, RCC konfiguraci externích oscilátoru a UART1 pro komunikaci s modulem HC-12.

Software ověří, že se jednotlivé hardwarové periferie nepřekrývají. Na zbylé porty zařízení lze konfigurovat další signály typu I/O, tedy digitální vstupy a výstupy, piny s funkcí přerušení a případně Wake-Up piny.

Hodiny mikroprocesoru

V druhém okně je pak možnost konfigurace hodin, tedy taktů na jednotlivých periferiích mikroprocesoru. Systém využívá externí HSE oscilátor na frekvenci 8 MHz.

Konfigurace

Před finálním vygenerováním kódu lze nastavit parametry sběrnic, provozní mód pro AD převodník, použití interních pull-down/pull-up odporů pro jednotlivé vstupy, či na kterou hranu pak reagují jednotlivé přerušovací piny. Nakonec je potřeba povolení přerušovacích rutin pro dané periferie.

Před vygenerováním kódu lze zvolit jaké ovladače pro periferie použít. Pro řešení jsou použity knihovny HAL. Ty usnadňují programátorovi implementaci kódu na

různé řady mikroprocesorů firmy STMicroelectronic. Po výběru IDE vygeneruje program soubory, do kterých programátor přidá své vlastní kódy.

Výpočet spotřeby energie

Jako bonus umí aplikace vypočítat přibližnou životnost na daný typ baterie. Do aplikace se zadá, v jakém módu procesor pracuje po jakou dobu a jaká je další odhadovaná spotřeba. Software následně vypočte, jak dlouho bude zařízení schopno být v provozu.

Jelikož zařízení je napájeno ze zdroje 12V napojeného na síťové napětí, nebyla provedena simulace provozu na baterii.

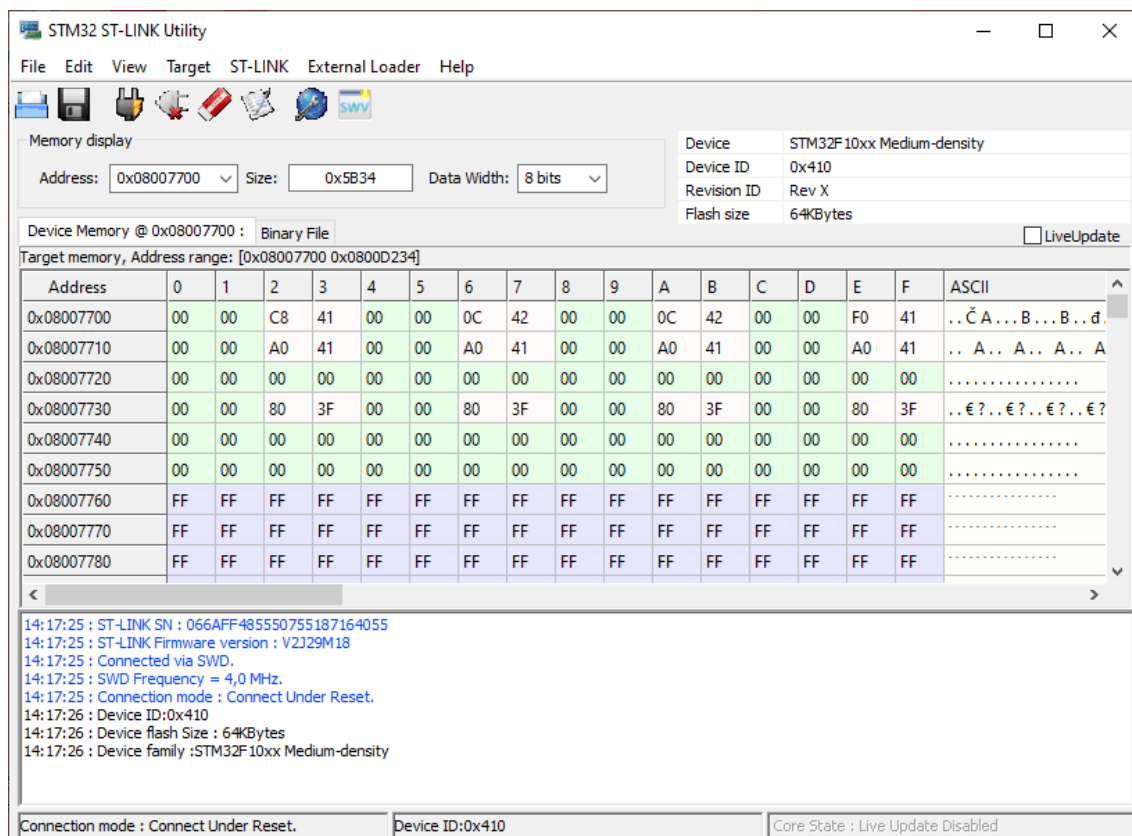
3.2.2 Program System Workbench for STM32

System Workbench for STM32 je freeware program postavený na velice oblíbené platformě Eclipse. Uvnitř tohoto softwaru se nachází pokročilý debugger, který dovoluje vkládat do zařízení hardwarové breakpointy. Je schopný rozložit a zobrazit zdrojový kód v jazyce assembler.

Pro vytvoření výsledného funkčního softwaru bylo nutné nastudovat velké množství manuálů, které popisovaly, jak dané zařízení funguje. Bez těchto dokumentů by nebylo možné mikroprocesor nakonfigurovat. [13][11][6][12][16]

3.2.3 Program STM32 ST-Link Utility

Tento program je určen hlavně pro nahrávání bin souborů do mikroprocesoru. Po připojení programátoru ST-Link na mikroprocesor je možné přehrát software a editovat vnitřní paměť. Lze tak například kontrolovat správnost operací s pamětí FLASH. [15]



Obr. 3.4: Editace konfigurace zařízení pomocí ST-Link Utility

4 Řešení vnitřní jednotky

Vnitřní jednotka je postavena na vývojové desce Raspberry Pi Model 3b. Je doplněn o komunikační modul HC-12, který je připojen pomocí čtyř vodičů na GPIO RPi. Důležitou součástí je microSD karta, na které je nainstalována poslední verze operačního systému Raspbian, tedy systému odvozeného od Linuxového jádra Debianu. Jelikož veškerá konfigurace bude probíhat vzdáleně přes SSH či webové rozhraní, je na kartě připravena odlehčená verze Raspbian Buster Lite, který neobsahuje desktopový režim.

4.1 Nutné části konfigurace

Před samotným programováním skriptů v PHP je nutné na RPi nainstalovat některé funkce:

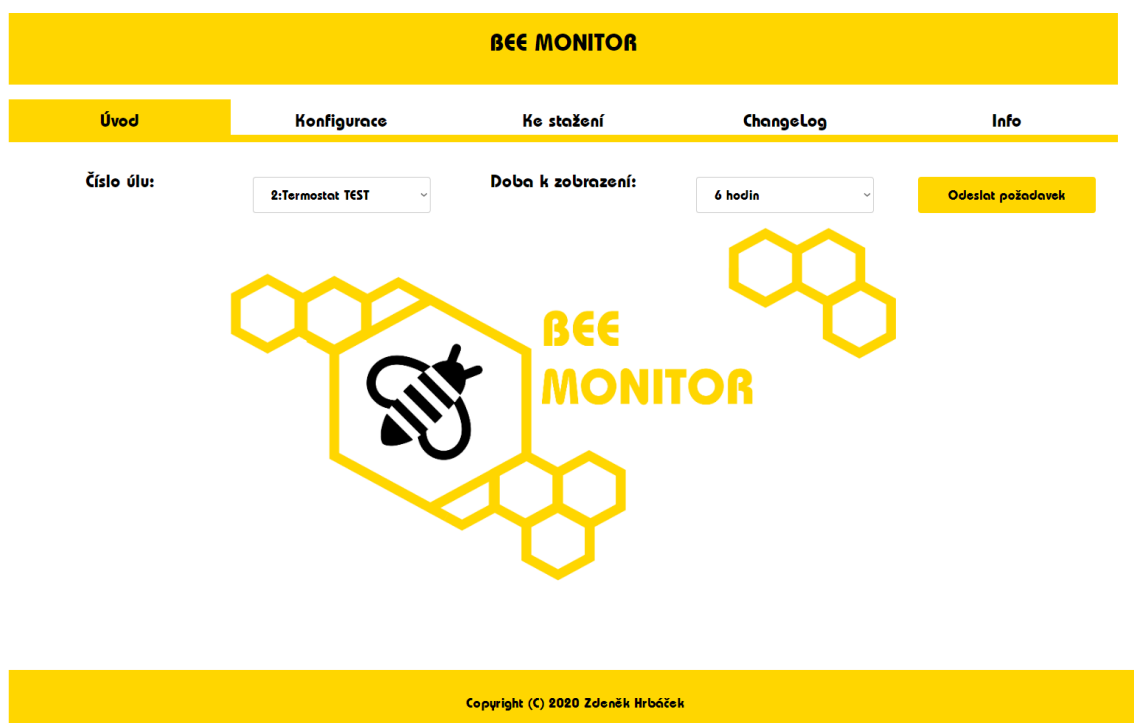
1. Aktualizace balíčků Raspbianu.
2. Povolení SSH - Pro jednodušší vzdálenou správu.
3. Instalace Apache - HTTP server.
4. Instalace PHP - Pro běh dynamických stránek.
5. Instalace MySQL - Databázový server pro ukládání informací.
6. Povolení UART - Povolení přístupu na sběrnici.
7. Nastavení AP - Nastavení přístupového bodu.
8. Nastavení přesměrování - Automatické přesměrování na webový portál aplikace.
9. Konfigurace CRON tabulky - Pravidelná komunikace mezi jednotkami.

Důležitou částí je konfigurace AP a automatické přesměrování na webové rozhraní. V našem případě se jedná o SSID: BEE_MONITOR a PASS: 20200511. Po úspěšném připojení stačí otevřít webový prohlížeč, obnovit stránku a dojde k automatickému přesměrování na hlavní stránku portálu.

4.2 Webové rozhraní

Celé webové rozhraní je rozděleno na několik záložek. Na hlavní straně se nachází rychlý výběr úlu a přepnutí na něj. V horní části se nachází pět záložek.

1. Úvod - rychlé přesměrování na úl.
2. Konfigurace - nastavení systému.
3. Ke stažení - obsahuje instalační a konfigurační manuály.
4. Changelog - historie změn a oprav systému.
5. Aktuální informace o jednotkách.



Obr. 4.1: Hlavní strana webového rozhraní

4.3 Konfigurace

Instalační nastavení se věnuje prvotnímu spuštění systému nebo případné rekonfiguraci při rozšíření. Konfigurace se skládá ze dvou tabulek, kde v první se definuje konfigurace jednotlivých úlů: počet snímačů, popis jednotky a nastavení provozního módu. V systému je implementována možnost provozování a vyhodnocení dat ze dvou snímačů v rámci jednoho úlu. Lze tak dosáhnout lepších výsledků měření a korelovat snímače mezi sebou.

Výstup	Provozní mod	Popis	Hlavní snímač	Vedlejší snímač
1.	Nepoužito	Jednička TEST INDOOR	Nepoužito	Nepoužito
2.	Jeden snímač	Termostat TEST	2	Nepoužito
3.	Jeden snímač	Trojka2x	3	Nepoužito
4.	Jeden snímač	ČtyrkaVenku	5	Nepoužito
5.	Jeden snímač	ŠestkaVenku	6	Nepoužito
6.	Jeden snímač	Setka	7	Nepoužito
7.	Jeden snímač	Sedmíčka	8	Nepoužito
8.	Nepoužito	Osmíčka	Nepoužito	Nepoužito

Obr. 4.2: Konfigurace úlů

Druhá tabulka definuje, které snímače mají být aktivní a mají z nich být tedy vyhodnocena data. Pokud jsou obě tabulky nakonfigurovány správně, začne systém po uložení konfigurace zaznamenávat data.

Aktivní snímače	
Snímač č.1.	<input type="checkbox"/>
Snímač č.2.	<input checked="" type="checkbox"/>
Snímač č.3.	<input checked="" type="checkbox"/>
Snímač č.4.	<input type="checkbox"/>
Snímač č.5.	<input type="checkbox"/>
Snímač č.6.	<input type="checkbox"/>
Snímač č.7.	<input type="checkbox"/>
Snímač č.8.	<input type="checkbox"/>

Odeslat změny

Obr. 4.3: Konfigurace aktivních snímačů

Nyní se můžeme přes hlavní stránku přepnout na zobrazení dat pro aktivní úly. Při volbě zobrazení dále volíme, za jaké období se mají zpracovat data.

4.4 Zobrazení

Okno zobrazení nám dává informace nejen o aktuálním stavu úlu, ale také dává informaci o zpracovaných hodnotách za předešlé období. Z aktuálních informací zde nalezneme:

- čas od poslední aktualizace dat z úlu,
- aktuální teplotu,
- aktuální vlhkost,
- nastavení regulátoru,
- aktuální stav topení.

Pro vlhkost a teplotu jsou zpracovávány hodnoty průměru, minima a maxima. V případě přiřazení více snímačů jednomu úlu jsou data z vedlejšího snímače zobrazena v závorce.

BEE MONITOR				
Úvod	Konfigurace	Ke stažení	ChangeLog	Info
Úl číslo:	<input type="text" value="3"/>	Doba k zobrazení:	<input type="text" value="12 hodin"/>	<button>Odeslat požadavek</button>
Snímače:	Hlavní: 2	Vedlejší: 3		<button>Vstoupit do konfigurace</button>
Popis:	Trojka2x		Typ provozu:	VYPNUTO
Aktualizace dat před:	0 hod, 0 min			NETOPÍ
Reg. teplota:	35°C		Reg. odchylka:	0°C
Aktuální hodnoty				
	Aktuální	Průměr	Minimum	Maximum
Teplota	25.69 (26.06) °C	23.48 (23.88) °C	1.00 (21.26) °C	25.80 (26.31) °C
Vlhkost	32.35 (33.53) %	33.95 (35.91) %	9.00 (28.72) %	39.54 (52.77) %

Obr. 4.4: Aktuální a zpracované hodnoty

Dále jsou vygenerovány dva grafy. První graf obsahuje teploty včetně zobrazení akčního zásahu termostatu. Druhý graf zobrazuje vlhkost.

Stisknutím tlačítka „Vstoupit do konfigurace” se uživatel přesune do nastavení termostatu pro daný úl.

4.5 Konfigurace termostatu

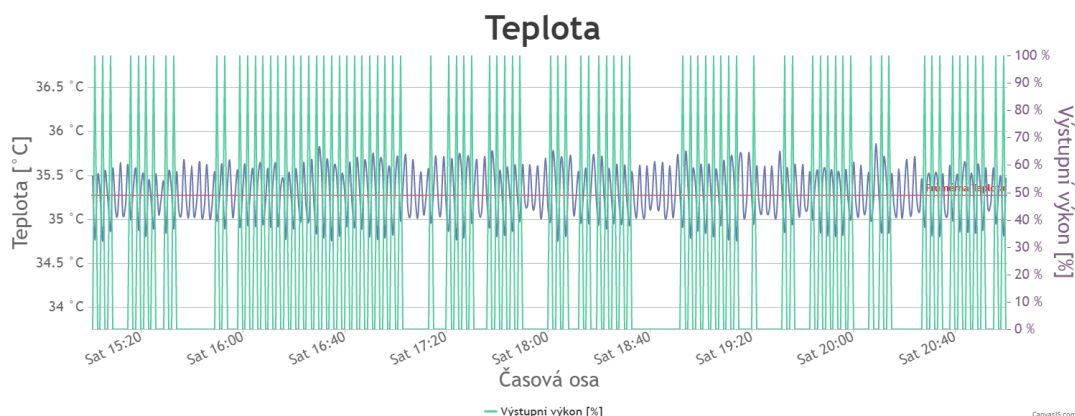
Systém obsahuje dva typy konfigurovatelných termostatů.

1. OFFLINE termostat
2. ONLINE termostat

4.5.1 OFFLINE termostat

Termostat pracuje uvnitř venkovní jednotky periodou vzorkování 5 vteřin. Je omezen pouze na jeden snímač, kdy číslo snímače musí odpovídat číslu výstupu. Konfigurace je do jednotky nahrána okamžitě po aktivaci a regulace je aktivní.

Nevýhodou je, že systém zpět do hlavní jednotky odesílá data s periodou jedna minuta, kdy v rámci této periody může být vykonáno několik regulačních zásahů a uživatel to z grafu nepozná.



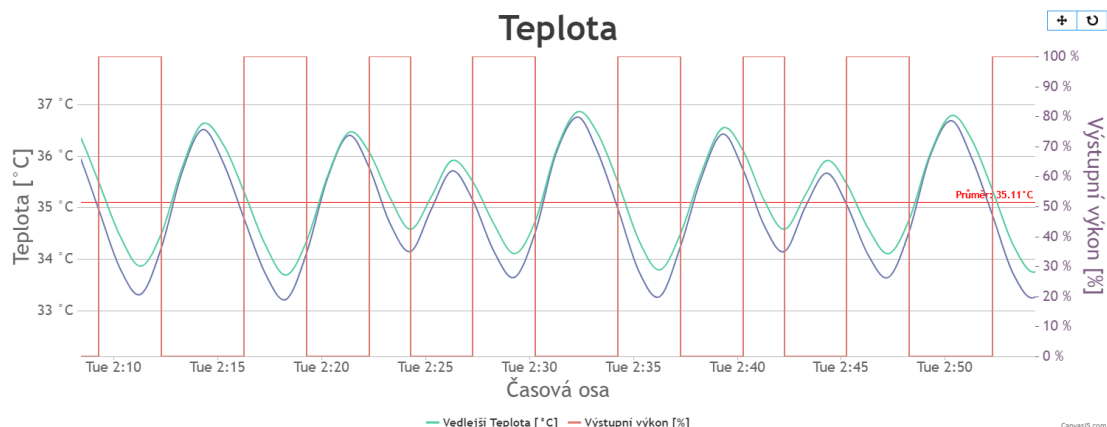
Obr. 4.5: Graf OFFLINE regulace včetně akčního zásahu

4.5.2 ONLINE termostat

Termostat pracuje ve vnitřní jednotce s periodou 1 minuta. Dokáže zpracovat až dva snímače s libovolnou adresou, k aktivaci termostatu dochází při první výměně naměřených dat mezi jednotkami. Termostat má dále tři pracovní režimy, podle kterých vyhodnocuje naměřená data:

- ONLINE (P) - vyhodnocuje průměr z obou snímačů,
- ONLINE (-) - vyhodnocuje snímač s nižší teplotou,
- ONLINE (+) - vyhodnocuje snímač s vyšší teplotou.

Jelikož je řízení přesně načasováno s přijetím dat, jsou hodnoty ve grafu vypovídající.



Obr. 4.6: Graf ONLINE (P) regulace včetně akčního zásahu

Součástí termostatu je také možnost ručního ovládání. To v případě aktivace vyřadí automatické termostaty. Je tedy nutné po vypnutí ručního režimu tuto automatiku opět nastavit.

4.5.3 Ke stažení

Pro projekt vznikly dva manuály. Jeden slouží pro provedení správné instalace a pro první spuštění a druhý slouží uživateli pro orientaci ve webovém rozhraní. Manuály se věnují celému procesu konfigurace systému a řeší možné problémy a jejich odstranění.

4.5.4 Info

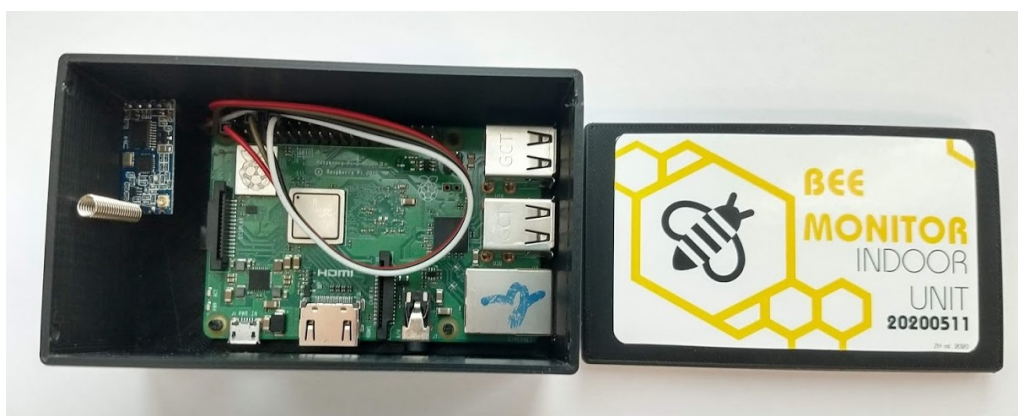
Záložka se věnuje aktuálnímu stavu systému. Obsahuje informace o verzích systému, aktuální informace o venkovní jednotce (vstupní napětí a interní teplota).

4.5.5 Fyzické provedení vnitřní jednotky

Pro vnitřní jednotku byl opět vytvořen obal SW SOLIDWORKS. Model obsahuje úchyty pro instalaci RPi, úchyt pro modul HC-12, větrací otvory pro proudění vzduchu a chlazení jednotky, otvor pro připojení napájení a otvor pro možnost připojit jednotku ke stávající LAN síti.



Obr. 4.7: Vizualizace vnitřní jednotky ze SW Solidworks



Obr. 4.8: Fyzické provedení vnitřní jednotky

5 Závěr

V rámci diplomové práce byl vytvořen funkční prototyp obou jednotek a osmi kusů snímačů (3 neadresovatelné). Dále byl vytvořen simulátor topení pomocí dvou kusů výkonových odporů (10W). S touto testovací sestavou byla provedena série měření a regulací a odstraněno co nejvíce problémů pro budoucí bezproblémový provoz 24/7. Na základě těchto pokusů lze zhodnotit jednotlivé části systému.

5.1 Zhodnocení venkovní jednotky

V případě venkovní jednotky došlo k milému překvapení, a to že systém byl schopen provozovat komunikaci se snímači na 60 metrů oproti prvotnímu požadavku komunikovat na cca 10 metrů. Obdobným způsobem překvapil i komunikační modul HC-12. Ten má výrobcem udávanou maximální komunikační vzdálenost 1000 metrů v otevřeném prostředí. Přesto se při testovacím měření podařilo komunikovat na 1100 metrů v otevřeném prostranství a 300 metrů v normálním provozu, kdy lze tyto hodnoty označit jako dostačující pro danou aplikaci.

Jako slabou část jednotky vnímám jednoduchý lineární regulátor, který by bylo vhodné při budoucí úpravě DPS nahradit spínaným zdrojem napětí a zvýšit tak efektivitu správy napájení. Dále navrhuji využít více potenciál výkonové části a dimenzovat DPS na 16 A. Toho by bylo možné dosáhnout zvětšením cest, případně jejich pocínováním.

FW jednotky při testovacím provozu neodhalil chyby a nedostatky. Jediným problémem tak zůstává UART v režimu POOLMODE. Při pokusech implementace režimu přerušení se sice zprvu jevilo vše v pořádku a jednotka pracovala správně, ale po delším provozu se vždy jednotka dostala do nedefinovaného stavu a jedinou možností opětovného spuštění bylo odpojení a připojení napájení.

5.2 Zhodnocení vnitřní jednotky

Při testování vnitřní jednotky jsem narazil na problém archivace času, jelikož RPi neobsahuje modul RTC. Při programování byl systém vždy připojen k internetu a tedy probíhala synchronizace času pomocí NTP serveru. Při ostrém provozu pak docházelo k chybnému zobrazení v grafech. Ovšem tuto vadu by bylo možné odstranit pomocí externího RTC modulu připojeného přes sběrnici I2C.

Webová aplikace funguje svižně včetně vykreslení grafů. Zde jsme omezeni výpočetním výkonem RPi, kdy v případě velkého množství dat v databázi může dojít k pomalejšímu vykreslení dat. Jelikož jsou celé webové stránky postaveny na několika PHP skriptech, je možné jednoduché rozšíření a úprava systému přidáním či úpravou těchto skriptů.

Všechny možnosti regulace byly otestovány a ověřeny při regulaci teploty na 35°C po dobu 12 hodin. Výsledky testování jsou uvedeny v tabulce.

Typ regulace	Průměr [°C]	Minimum[°C]	Maximum[°C]
OFFLINE	35,27	34,72	35,89
ONLINE(P)	35,11	33,11	37,14
ONLINE(-)	37,56	33,49	43,67
ONLINE(+)	32,90	29,4	37,36

Tab. 5.1: Porovnání výsledků regulátorů

Z tabulky vychází, že OFFLINE a ONLINE(P) regulátor se pro řízení na konstantní teplotu jeví jako nejvhodnější. V reálných situacích ovšem může být vhodné omezit regulovanou teplotu z horní nebo spodní hranice a docílit tak kvalitnějších výsledků. Případně v budoucích verzích přidat možnost regulace jako je vážený průměr z čidel či použití více čidel při ONLINE regulaci.

Literatura

- [1] beehivemonitoring.com. <https://beehivemonitoring.com/cs/>, 2020.
- [2] GPS Dozor Včelař. <https://www.gpsdozor.cz/vcelar/>, 2020.
- [3] BOSCH: *BME280 Enviromental sensor*. october 2015, rev. 1.2.
- [4] Espressif Systems: *ESP32 Series Datasheet*. april 2020, ver.3.4.
- [5] Espressif Systems: *ESP8266X*. april 2020, ver.6.4.
- [6] Honeywell: *SPI Communication with the Honeywell HumidIcon DigitalHumidity/Temperature Sensors*. July 2012, 009071-1-EN.
- [7] Honeywell: *HIH7000 Series Honeywell HumidIcon Digital Humidity/Temperature Sensors*. May 2015, 009074-7-EN.
- [8] Hrbáček, Z.: Sběr dat s bezdrátovým přenosem informací. 2018.
URL <http://hdl.handle.net/11012/81977>
- [9] M. P. WANIELISTA, R. E., R. KERSTEN: *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*. John Wiley a Sons., druhé vydání, 1996, ISBN 978-0-471-07259-1, 592 s.
- [10] Sensiron: *Datasheet SHT1x Humidity and Temperature Sensor*. July 2008, rev. 4.
- [11] Silicon Laboratories: *Si4464 HIGH-PERFORMANCE, LOW-CURRENT TRANSCEIVER*. January 2016, rev. 1.2.
- [12] STMicroelectronics: *Getting started with STM32F10xxx hardware development*. november 2011, rev.7.
- [13] STMicroelectronics: *STM32F103x8 Medium-density performance line ARM 32-bit MCU*. august 2015, rev. 17.
- [14] STMicroelectronics: *Oscillator design guide for STM8AF and STM32 micro-controllers*. may 2017, rev.11.
- [15] STMicroelectronics: *STM32 ST-LINK utility software description*. july 2017, rev.23.
- [16] STMicroelectronics: *Description of STM32F1 HAL and low-layer drivers*. february 2020, rev.3.

- [17] Taiwan Semiconductor: *TS1117B 1A Low Dropout Positive Voltage Regulator*. July 2016, h1607.
- [18] Texas Instruments: *SN74HC138 3-LINE TO 8 LINE DECODER*. september 2003, sCLS107E.
- [19] Texas Instruments Inc.: *CC1101 Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver*. 20113, sWRS061I.
- [20] ŘÍPKA, P.; ĎAĎO, S.; KREIDL, M.; aj.: *Senzory a převodnky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, první vydání, 2005, ISBN 80-01-03123-3, 135 s.
- [21] Wikipedia: Serial Peripheral Interface — Wikipedia, The Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial%20Peripheral%20Interface&oldid=929049753>, 2020, [Online; accessed 05-January-2020].
- [22] Wikipedia: Universal asynchronous receiver-transmitter — Wikipedia, The Free Encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Universal%20asynchronous%20receiver-transmitter&oldid=917797015>, 2020, [Online; accessed 05-January-2020].

Seznam symbolů, veličin a zkratek

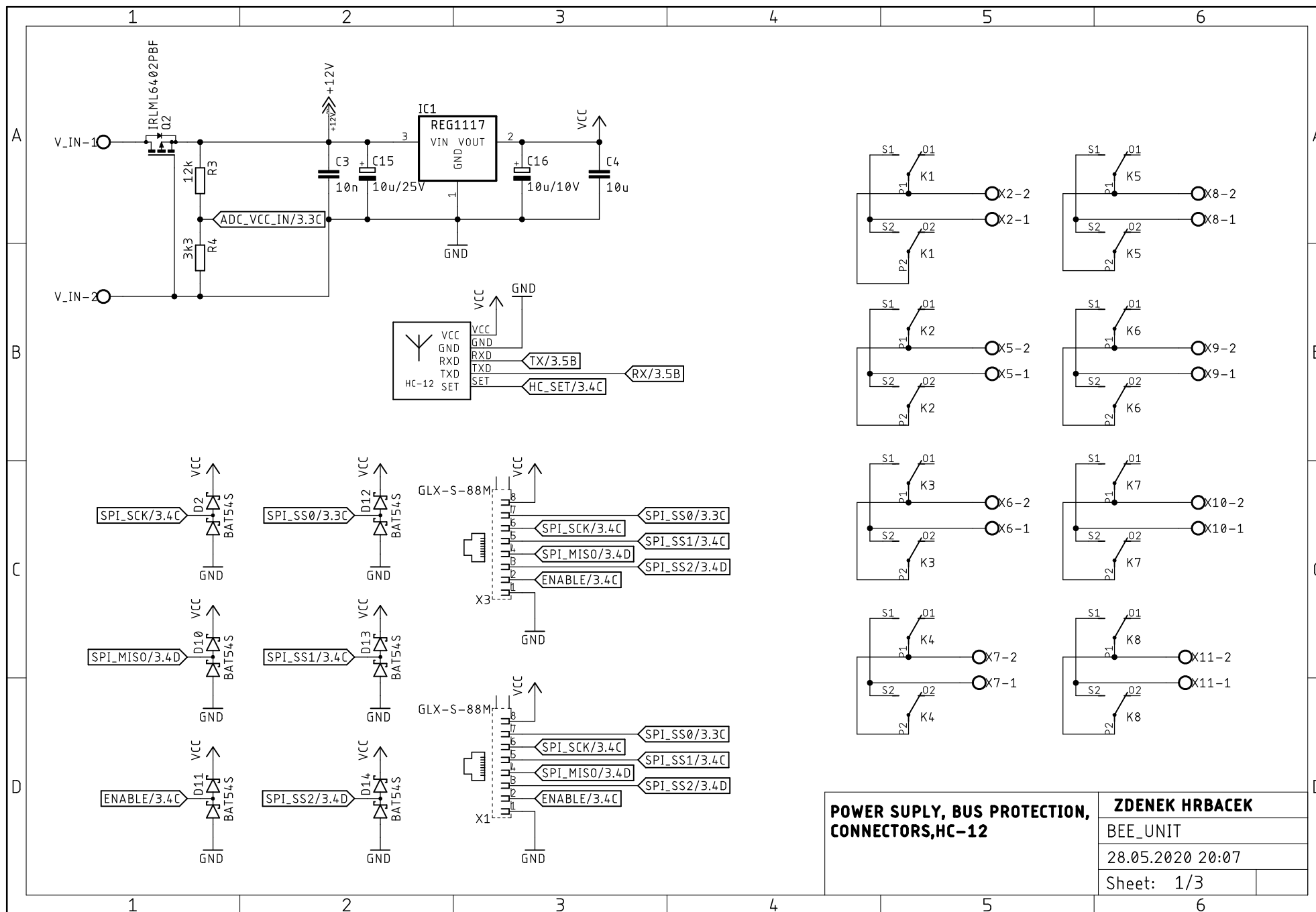
WiFi	WiFi - bezdrátová komunikace určená pro počítačové sítě
MCU	mikropočítač - microcontroller
Eagle	vývojové prostředí pro tvorbu schémat a desek DPS
DPS	deska plošného spoje
IoT	internet věcí - Internet of Things
RPi	Raspberry Pi - mini PC
SPI	serial peripheral interface - komunikační sběrnice master - slave
UART	universal asynchronous receiver and transmitter- komunikační sběrnice point - point
Cloud	data uložena na serverech ke kterým má uživatel přístup odkudkoliv
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems - mikroelektromechanická součástka integrovaná na čipu
HTTP	Hypertext Transfer Protocol

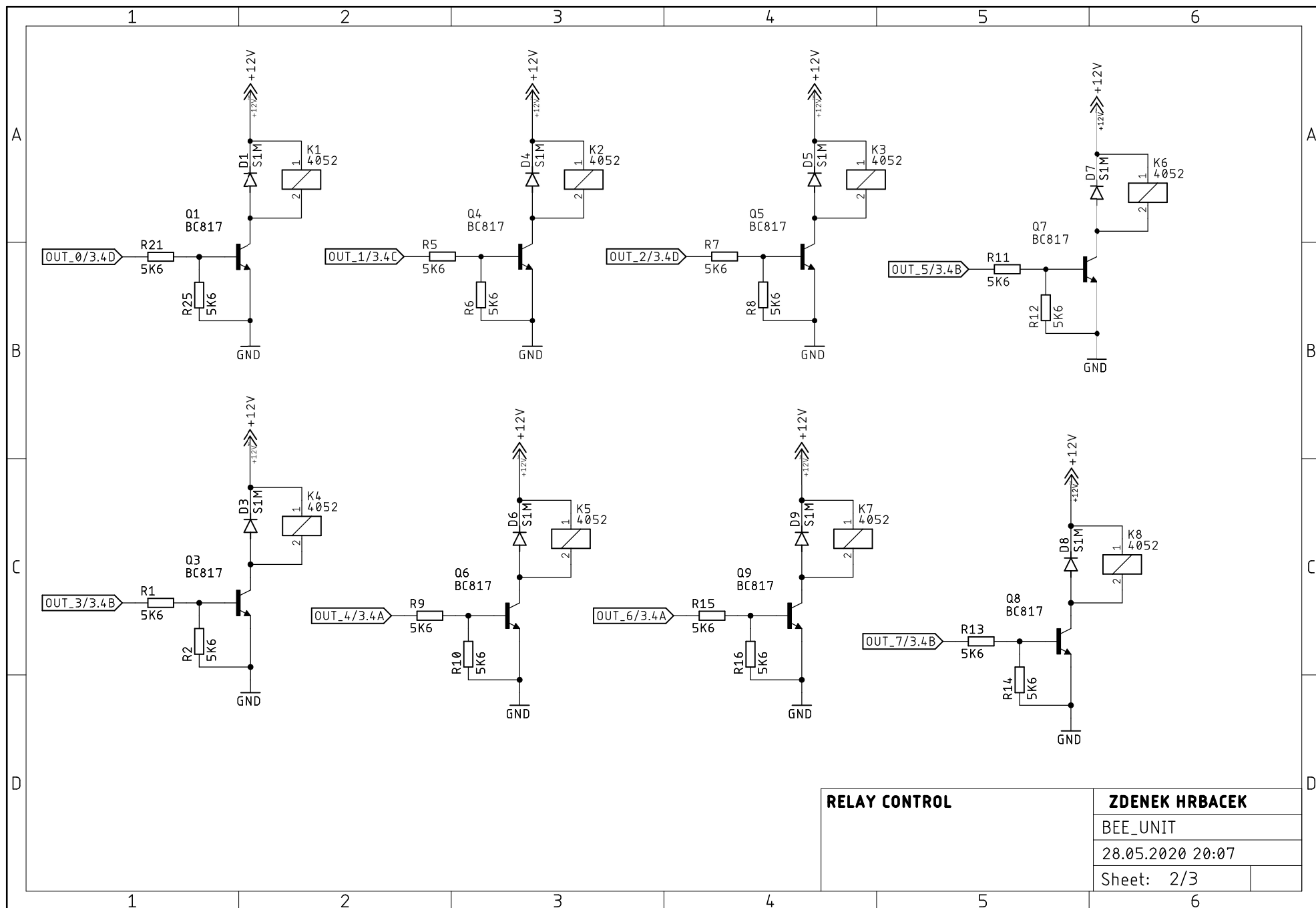
Seznam příloh

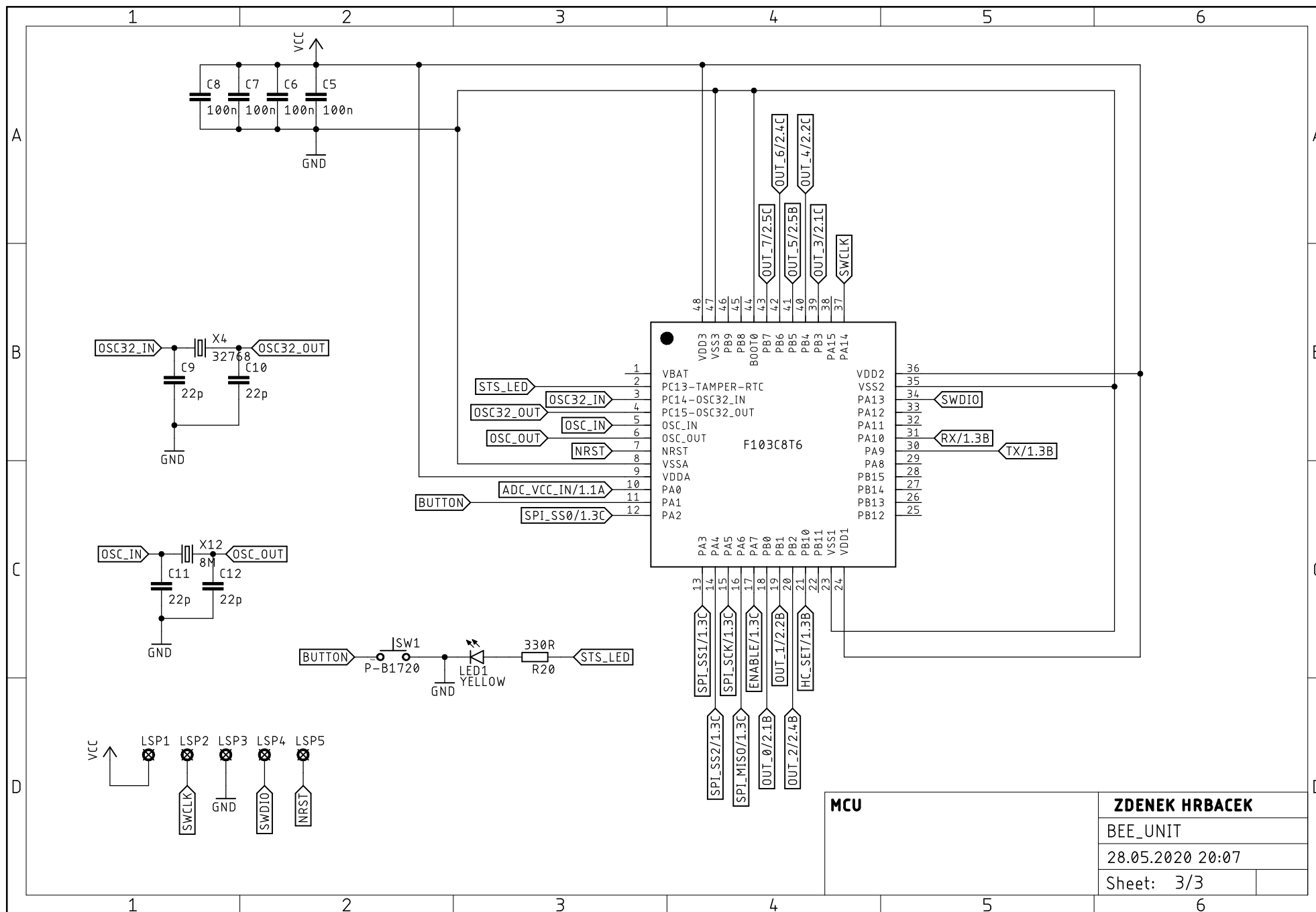
A Schéma zařízení	56
B Plošný spoj venkovní jednotky	61
C Plošný spoj snímače	63
D Seznam použitých součástek	65
E Obsah přiloženého DVD	67

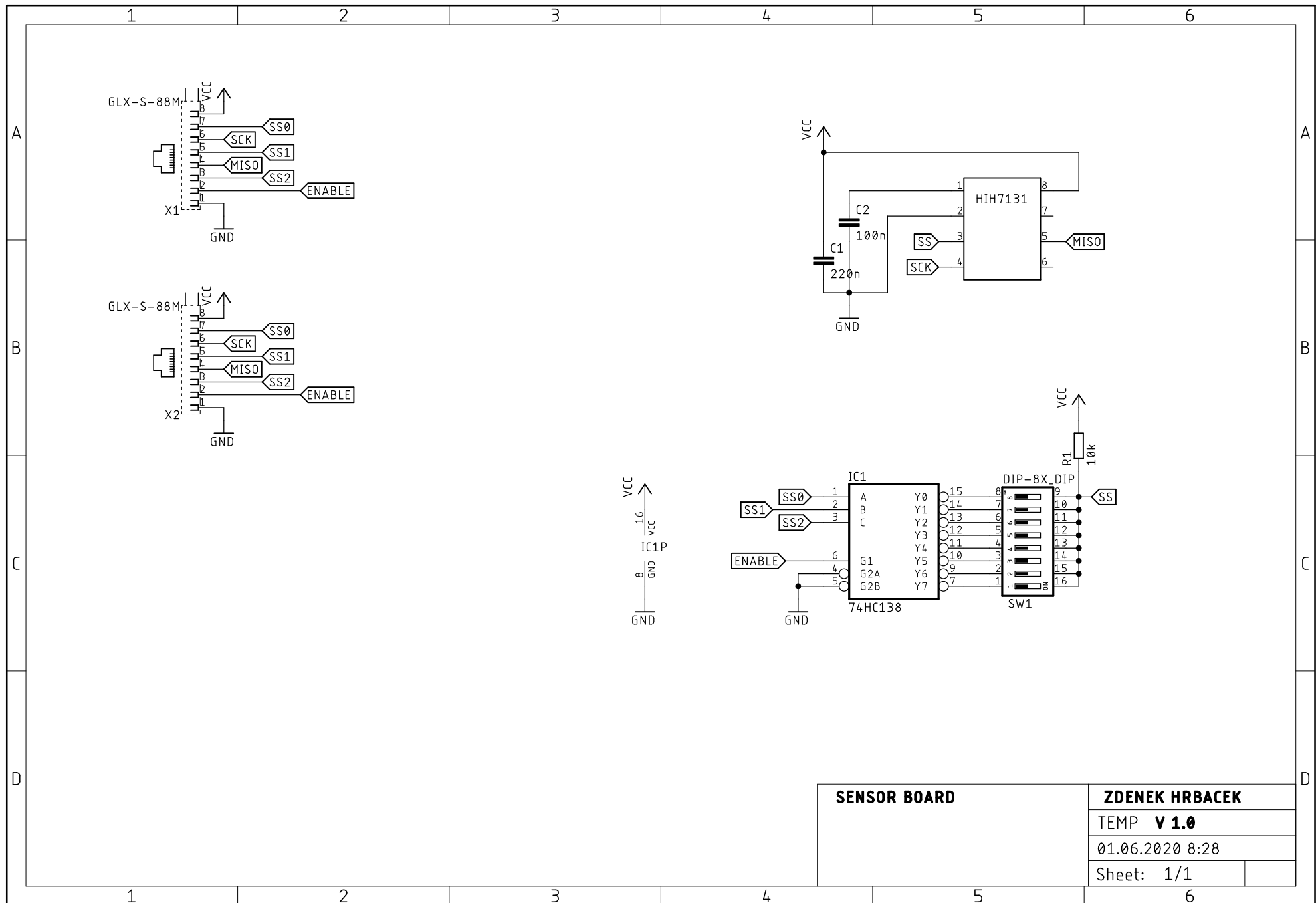
A Schéma zařízení

Jedná se o schéma zařízení navržené v Autocad Eagle 9.5.1. První tři strany se věnují venkovní jednotce, čtvrtá strana je pak návrh desky se snímačem.

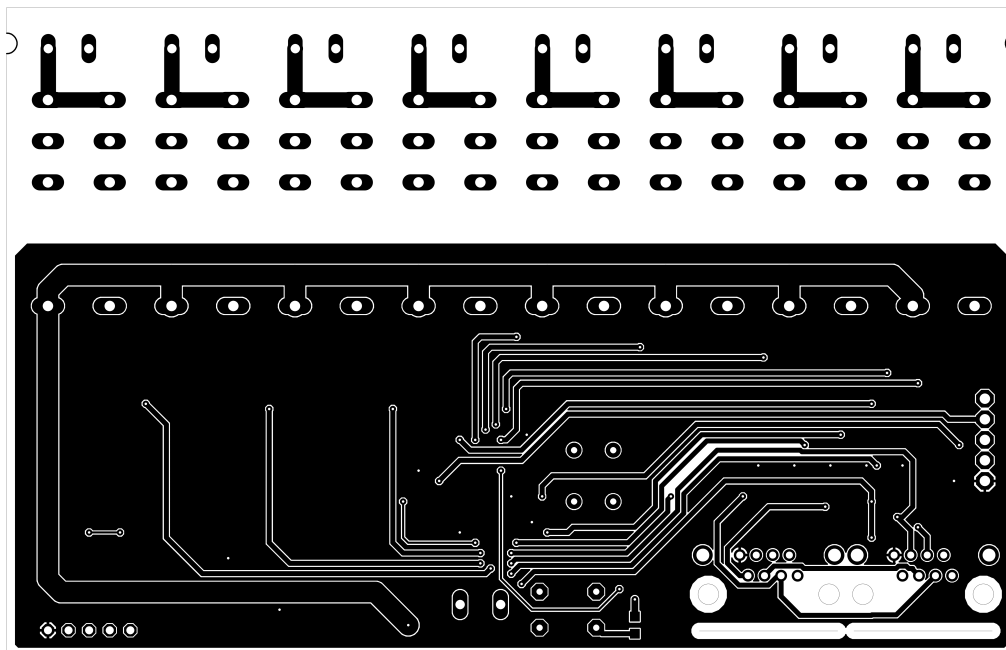




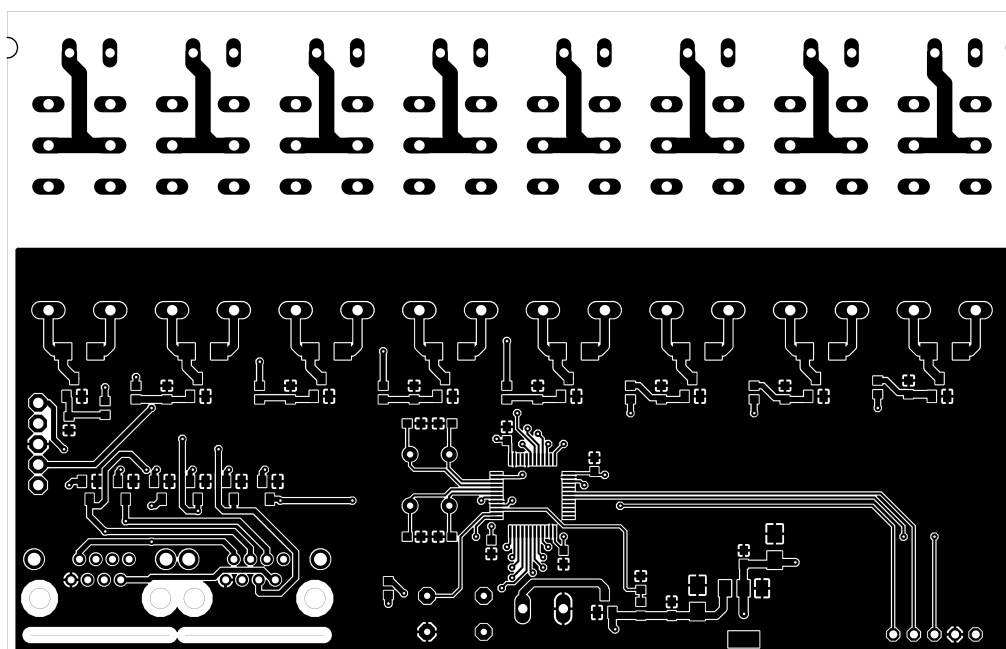




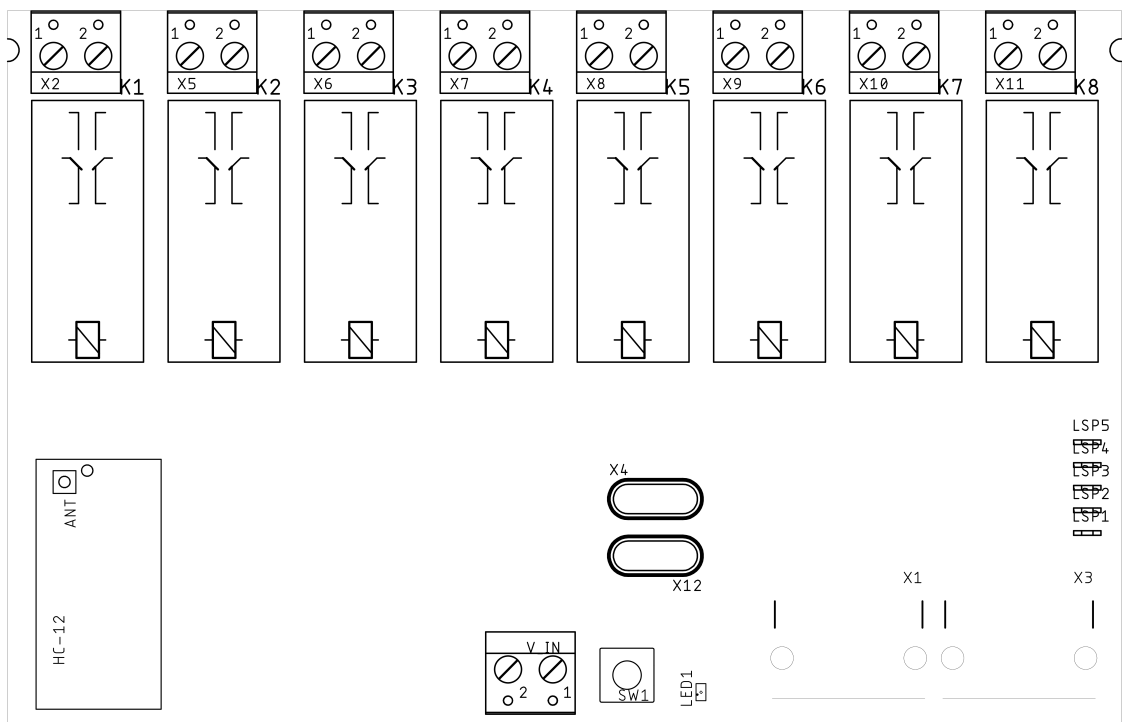
B Plošný spoj venkovní jednotky



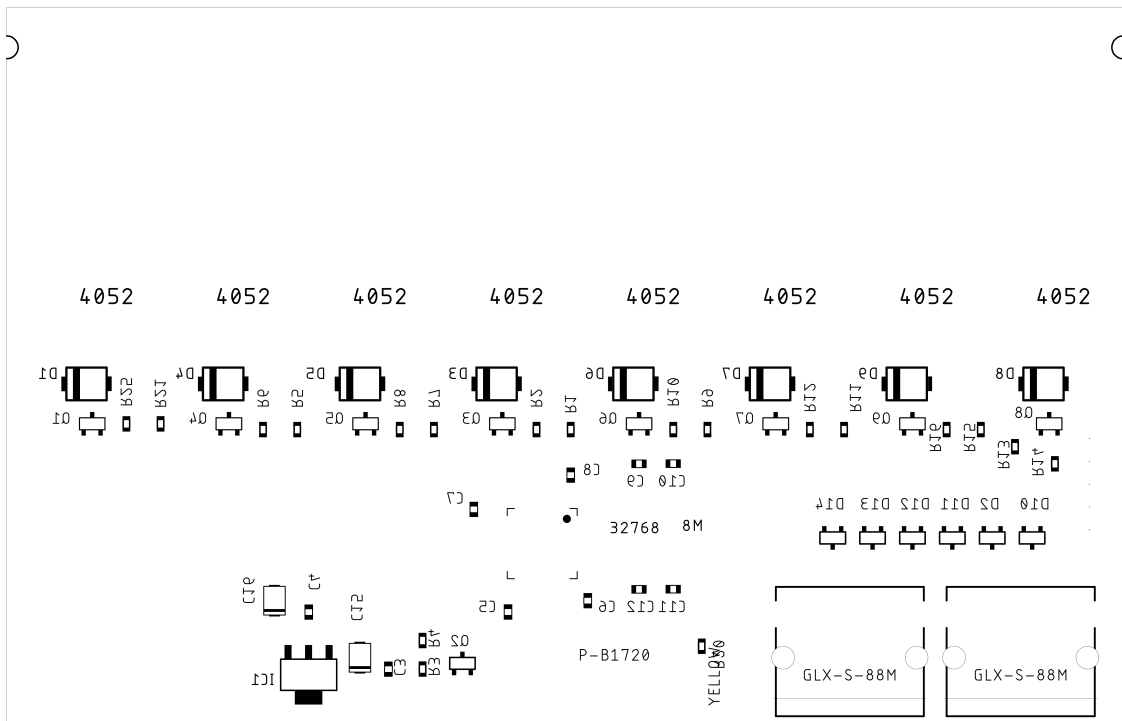
Obr. B.1: Vrechní strana mědi plošného spoje venkovní jednotky



Obr. B.2: Spodní strana mědi plošného spoje venkovní jednotky

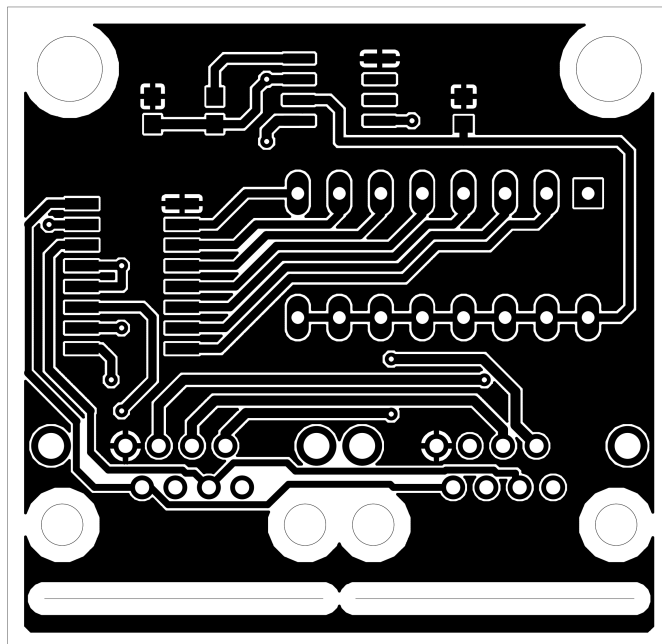


Obr. B.3: Vrchní strana osazovacího plánu venkovní jednotky

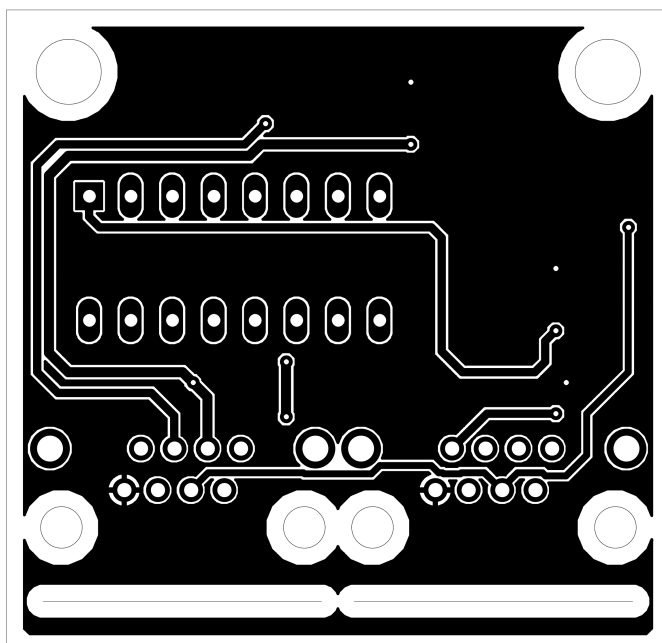


Obr. B.4: Spodní strana osazovacího plánu venkovní jednotky

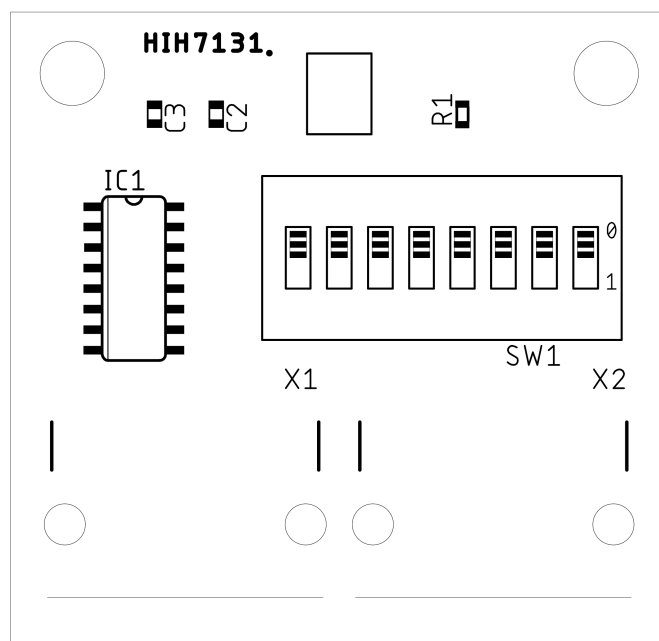
C Plošný spoj snímače



Obr. C.1: Vrchní strana mědi plošného spoje snímače



Obr. C.2: Spodní strana mědi plošného spoje snímače



Obr. C.3: Osazovací plán snímače

D Seznam použitých součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Počet	Pozn.:
X2, X5 - X12	ARK2500V-A-2P	W237-102	9	násuvná vidlice
C5 - C8	100n	C0603	4	kondenzátor keramický
C3	10n	C0603	1	kondenzátor keramický
C4	10u	C0603	1	kondenzátor keramický
C16	10u/10V	B/3528-21W	1	kondenzátor tantalový
C15	10u/25V	B/3528-21W	1	kondenzátor tantalový
R3	12k	R0603	1	rezistor
C9 - C12	22p	C0603	4	kondenzátor keramický
X4	32768Hz	HC49	1	krystal přesného času
R20	330R	R0603	1	rezistor
R4	3k3	R0603	1	rezistor
K1 - K8	40.61.9.012.0000	F4052	8	relé
R1, R2, R5 - R22	5K6	R0603	16	rezistor
X12	8MHz	HC49	1	krystal
D2, D10 - D14	BAT54S SMD	SOT23	6	Schottkyho dioda
Q1, Q3,- Q9	BC817	SOT23-BEC	8	NPN tranzistor
X1, X3	WEBP 8-8 PCB	GLX-A-88	2	RJ45 konektor
U1	HC-12	HC-12	1	komunikační modul
Q2	IRLML6402PBF	SOT23	1	P-MOS tranzistor
SW1	DTSM-63N-V-T/R	P-B1720	1	mikrospínač
IC1	TS1117BCW33	SOT223	1	stabilizátor
D1, D3- D9	S1M	SMA	8	usměrňovací dioda
U2	STM32F103C8T6	LQFP48	1	mikroprocesor
LED1	YELLOW	SML0805	1	LED žlutá

Tab. D.1: Seznam součástek venkovní jednotky

Označení	Hodnota	Pouzdro	Počet	Pozn.:
C2	100n	C0603	1	kondenzátor keramický
R1	10k	R0603	1	rezistor
C1	220n	C0603	1	kondenzátor keramický
IC1	74HC138	SO16	1	dekodér 3 na 8
SW1	DIP-8X	DIP-8X	1	dip přepínač
X1, X2	WEBP 8-8 PCB	GLX-S-88	2	RJ45 konektor
U1	HIH7131	SOIC-8 SMD	1	snímač vlhkosti a teploty

Tab. D.2: Seznam součástek snímače

E Obsah přiloženého DVD

Na přiloženém DVD se nachází všechny zdrojové soubory pro mikroprocesor (SW for STM32, STM32CubeMX), schémata a desky plošných spojů a 3D modely obalů. Dále je zde kompletní obraz RPi a samostatně pak webové rozhraní.

/	Kořenový adresář přiloženého DVD
└─ DATASHEET	Katalogové listy použité při vývoji
└─ Fotografie zařízení	Fotografie jednotlivých prototypů
└─ Manuály	Uživatelský a instalační manuál
└─ Náhled WEB	Snímky webových stránek
└─ Schéma a DPS	Soubory Autocad Eagle 9.5.1
└─ 3D Modely	Soubory Solidworks 2016
└─ FW mikroprocesor	Zdrojové soubory SW for STM32, STM32CubeMX
└─ Podklady WEB	Zdrojové soubory pro webové stránky
└─ IMG SW Raspberry Pi	Kompletní záloha RPi